



Handbuch

der

Physiologischen Optik

von

H. von Helmholtz.

Zweite umgearbeitete Auflage.

Mit 254 Abbildungen im Text und 8 Tafeln.

Hamburg und Leipzig.
Verlag von Leopold Voss.
1896.

6565755

Druck der Verlagsanstalt und Druckerei Actien-Gesellschaft (vormals J. F. Richter) in Hamburg.



Vorrede zur ersten Auflage.

Die erste Abtheilung des vorliegenden Handbuches ist schon im Jahre 1856 erschienen, die zweite 1860, die dritte theils Anfang, theils Ende 1866. Die lange Verzögerung der Herausgabe des letzten Theils war theils durch äufsere Gründe, zweimaligen Wechsel des Wohnortes und Wirkungskreises, sich zwischendrängende andere wissenschaftliche Arbeiten, theils durch innere Gründe veranlafst. Die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen ist gerade im Laufe der letzten Jahre sehr vielfältig bearbeitet worden, und hat eben angefangen ihren reichen Inhalt und das tiefgreifende Interesse, was sie besitzt, zu entfalten. Es könnte billiger Weise auch jetzt noch einem Zweifel unterliegen, ob es schon möglich ist, mit einiger Aussicht auf Erfolg einen, wenn auch nur vorläufigen, Abschlufs eines so jungen und gleichsam noch gährenden Zweiges der Wissenschaft geben zu wollen, wie es doch der allgemeine Plan dieses Buches und der Encyklopädie, zu der es gehört, erfordert.* Andererseits ist bei der eigenthümlichen Natur dieses Gebiets ein schneller Fortschritt zu einer endgiltigen Beantwortung der noch offenen Fragen nicht gerade zu erwarten. Theils ist dasselbe eng verflochten mit den schwierigsten psychologischen Problemen, theils ist die Zahl der Beobachter gering, die es fördern können, da immer eine lange Uebung in der Beobachtung subjectiver Erscheinungen und in Beherrschung der Augenbewegungen vorhergehen mufs, ehe

* Die erste Auflage erschien als Band IX der *Allgemeinen Encyklopädie der Physik*, herausgegeben von Gustav Karsten. (A. K.)

man auch nur sieht, was die Vorgänger schon gesehen haben, und Mancher, der diese Uebungen nicht vorsichtig genug anstellt, schon dann genöthigt ist, eine sorgfältige Schonung seiner Augen eintreten zu lassen. Dazu kommt, dafs gerade hier, wo psychische Processe eingreifen, auch der Spielraum der individuellen Abweichungen viel gröfser zu sein scheint, als in anderen Gebieten der Physiologie.

Dennoch mufste am Ende der Versuch gemacht werden, Ordnung und Zusammenhang in dieses Gebiet hineinzubringen und es von den auffälligen Widersprüchen zu befreien, die sich bis jetzt durch dasselbe hinzogen. Ich habe dies gethan in der Ueberzeugung, dafs Ordnung und Zusammenhang, selbst wenn sie auf ein unhaltbares Princip gegründet sein sollten, besser sind als Widersprüche und Zusammenhanglosigkeit. Ich habe deshalb das Prinzip der empiristischen Theorie, wie ich es im 26. und 33. Paragraphen auseinandergesetzt habe, und von dem ich mich immer mehr überzeugt habe, je länger ich arbeitete, dafs es das einzige ist, welches ohne Widersprüche durch das Labyrinth der gegenwärtig bekannten Thatsachen hindurchführt, zum Leitfaden genommen. Es sind mir auf diesem Wege schon andere Forscher vorangegangen, deren Arbeiten, vielleicht wegen einer der materialistischen Neigung der Zeit entsprechenden Vorliebe zu unmittelbar mechanischen Erklärungen, im Ganzen nicht den Beifall gefunden haben, den sie wohl verdient hätten. Der Grund davon kann darin gelegen haben, dafs diese meine Vorgänger immer nur einzelne Kapitel der Lehre von den Gesichtswahrnehmungen bearbeitet haben, und hier eigentlich nur der Zusammenhang des Ganzen der Ansicht, in welcher er gewonnen wird, überzeugende Kraft verschaffen kann. Ich habe mich deshalb bemüht, diesen Zusammenhang vollständig zu entwickeln.

Den Uebelständen, welche durch die Verzögerung der Herausgabe des Ganzen für die ersten beiden Abtheilungen entstanden sind, habe ich dadurch abzuhelfen gesucht, dafs ich in einem Nachtrage die neuere Literatur zusammengestellt und kurz wenigstens die wichtigsten der seit Herausgabe jener Abtheilungen neu gefundenen Thatsachen besprochen habe. Glücklicher Weise befindet sich unter diesen keine, welche eine wesentliche Veränderung der aufgestellten Schlüsse und Ansichten bedingt hätte.

Was die literarischen Uebersichten betrifft, die nach dem Plane der Encyklopädie verlangt wurden, so habe ich sie so gut gegeben, als ich bei den mir zu Gebot stehenden Hilfsmitteln konnte. Die neuere Literatur wird ziemlich vollständig sein; die ältere habe ich vielfach aus secundären Quellen zusammentragen müssen und kann für ihre Genauigkeit keine Garantie übernehmen. Die Ausarbeitung einer wirklich zuverlässigen Geschichte der physiologischen Optik würde eine Arbeit sein, die die Zeit und Kraft eines Forschers für lange Jahre in Anspruch nehme, und das entsprechende Interesse würde sie doch erst haben, wenn der Zustand der Wissenschaft selbst ein reiferer wäre, als er jetzt ist.

Mein Hauptstreben bei der Ausarbeitung des vorliegenden Buches ist es gewesen, mich durch eigenen Augenschein und eigene Erfahrung von der Richtigkeit aller, nur einigermafsen wichtigen Thatsachen zu überzeugen. Die Methoden der Beobachtung habe ich stets in derjenigen Ausführungsweise beschrieben, welche mir die zuverlässigste zu sein schien, und wo dieselben von der Methode des Entdeckers abweichen, bitte ich darin nicht eine unmotivirte sucht nach Neuerungen zu sehen.

Mögen sachverständige Richter die Schwierigkeit und Weitläuftigkeit der Aufgabe, die zu lösen war, berücksichtigen, wo sie das ihnen hier übergebene Buch zu tadeln finden sollten.

Heidelberg, im December 1866.

H. HELMHOLTZ.



Vorrede zur zweiten Auflage.

Da die ältere Ausgabe dieses Buches seit Jahren aus dem Buchhandel verschwunden war, und doch noch immer wieder verlangt wurde, habe ich mich entschlossen, eine neue Ausgabe zu bearbeiten. Diese konnte nicht wohl ein unveränderter, beziehlich nur von Druckfehlern und andern Versehen gereinigter Abdruck der ersten Ausgabe sein, da die grofse Menge von Arbeiten, die seit dem Erscheinen des Werks in der Ophthalmologie durchgeführt sind, doch eine grofse Menge theils gewichtiger Bestätigungen und Sicherungen der damals aufgestellten Sätze, theils Verbesserungen und genauere Bestimmungen gebracht haben. Auch glaube ich jetzt die frühere Darstellung an manchen wichtigen Stellen einfacher oder deutlicher machen zu können.

Andrerseits fand ich es unmöglich, in absehbarer Zeit die neue Ausgabe vollständig nach denselben Grundsätzen durchzuarbeiten, nach denen ich es bei der früheren gethan habe. Damals hatte ich es mir zur Pflicht gemacht, alle wesentlichen Punkte durch eigene Beobachtungen und Versuche zu prüfen, beziehlich zu begründen. Ich habe also einen mittleren Weg einschlagen müssen. Ich habe aus der neueren Litteratur möglichst berücksichtigt, was mir einen wesentlichen Fortschritt, oder eine wünschenswerte Sicherung, beziehlich Widerlegung meiner früheren Ergebnisse und

Meinungen zu enthalten schien. Ich bin aber nicht darauf ausgegangen, im Texte des Buches eine vollständige Aufzählung und Kritik neuerer Meinungen zu geben. Dagegen soll am Schlusse eine möglichst vollständige Übersicht der Litteratur, nach dem Inhalte geordnet, folgen, deren Zusammenstellung Herr Dr. Arthur König übernommen hat.

Um die älteren Citate in der neuen Auflage finden zu können, sind die Seitenzahlen derselben am Rande des neuen Textes angegeben, und was umgearbeitet oder neu eingesetzt ist, ist durch ein an den Rand gesetztes *n* bezeichnet, so dafs der Leser die gemachten Änderungen leicht erkennt.

Auch von den Figuren ist ein grofser Teil durch bessere neue ersetzt worden, andere sind neu hinzugefügt.

Berlin, im November 1885.

HERMANN VON HELMHOLTZ

Diese Worte waren der ersten Lieferung der neuen Auflage des vorliegenden Werkes zur Orientirung über die Gesichtspunkte, nach denen die Umarbeitung in Angriff genommen werden sollte, vorangeschickt. Seitdem sie niedergeschrieben, sind mehr als zehn Jahre vergangen, und inzwischen ist am 8. September 1894 Hermann von Helmholtz selbst von seinem Werke abberufen worden.

Das so umgrenzte Programm wurde in den ersten vier Lieferungen (Seite 1—320) im Wesentlichen eingehalten. Allmählich aber erwachte durch die neue Beschäftigung mit der physiologischen Optik bei dem Verstorbenen das Interesse an der Sache wieder zu der alten Intensität, und er begann auf's neue — freilich ohne selbst anhaltend zu experimentiren, sondern indem er sich auf die Beobachtungen und Messungen Anderer stützte — an der Lösung einzelner Probleme mitzuarbeiten. Es entstanden dadurch mehrere Abhandlungen, die dann, zum Theil verschmolzen mit grofsen Abschnitten aus den benutzten Abhandlungen Anderer, fast wörtlich in das vorliegende Handbuch aufgenommen wurden. Leider aber liefsen die sonstigen wissenschaftlichen Interessen und die stets wachsenden beruflichen Arbeiten ihm keine Zeit, in gleicher Ausführlichkeit auch die übrigen Gebiete und Theorien zu

behandeln. Das hatte eine gewisse Ungleichmäfsigkeit zur Folge, die im Interesse der abgerundeten, auch der entgegengesetzten Anschauung völlig gerecht werdenden Darstellung zu bedauern ist, aber sowohl gegenüber der grofsen wissenschaftlichen Bedeutung des Buches im Ganzen als auch der Ideenfülle des Neuhinzugekommenen verschwindet.

Nach dem Erscheinen der achten Lieferung (bis S. 640) betrachtete H. v. Helmholtz seine Arbeit für diese Auflage im Wesentlichen als beendet. Er wollte alles Folgende fast unverändert aus der ersten Auflage übernehmen, vielleicht nur einige mathematische Ausführungen fortlassen, insbesondere solche die schon in seinen „Wissenschaftlichen Abhandlungen“ enthalten waren. Als eine derartige Auslassung hatte er bereits (in Anm. 1 auf S. 640) die Ableitung des Drehungsgesetzes der Augen aus dem Prinzipe der leichtesten Orientierung (S. 497—516 der ersten Aufl.) bezeichnet. Die Revision des weiteren Textes hatte er selbst noch bis zu dem Beginn des Abschnittes „allgemeine geometrische Betrachtung der Drehungen“ auf S. 645 vorgenommen, als am 12. Juli 1894 eine schwere Erkrankung aller weiteren Thätigkeit ein Ende setzte. Nach seinem Tode habe ich dann in Übereinstimmung mit den Erben und der Verlagsbuchhandlung die Fortführung des Werkes übernommen.

Wenn ich auch gewifs bin, dafs der Verstorbene bei wirklicher Inangriffnahme der Arbeit, ebenso wie es bisher stets der Fall gewesen war, doch gröfsere Änderungen und Einschaltungen gemacht haben würde, als er sie vorher beabsichtigte, so hielt ich mich trotzdem nicht für berechtigt, meine Aufgabe jetzt anders als jener Absicht entsprechend durchzuführen. Weitere Auslassungen als die oben angegebene konnte ich nicht vornehmen, da er keine bestimmte Äufserung darüber gemacht hatte; ich weifs nur, dafs sie u. a. die Theorie des Horopters betreffen sollten. Abgesehen von kleinen Änderungen (Umstellung der Figuren, Berichtigung der Zeitangaben u. s. w.) habe ich daher den Text der ersten Auflage unverändert gelassen. Nur auf S. 799 ist eine Einschaltung (über die Tapetenbilder) gemacht, deren Wortlaut einer im Jahre 1878 von dem Verstorbenen veröffentlichten kleinen Abhandlung (Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft zu Berlin, 10. Mai 1878, S. 57—58. — Abgedruckt in du Bois-Reymond's Archiv. Jahrg. 1878, S. 322—324 und H. von Helmholtz, Wissenschaftliche Abhandlungen. Bd. II. S. 497—500) entnommen ist. Da ich weifs, dafs der Verfasser Werth auf die hier mitgetheilte Beobachtung legte, so bedarf ihre Aufnahme keiner besonderen Rechtfertigung.

Von den beigegebenen Tafeln wurde Taf. I noch zu Lebzeiten des Verfassers ausgegeben. Taf. II hat ihm nur im Probeabzug vorgelegen. Fig. 1 dieser Tafel ist nach einer von Hrn. Prof. W. Uhthoff hergestellten Zeichnung ausgeführt worden, für welche H. v. Helmholtz ihm an dieser Stelle seinen Dank aussprechen wollte. Ich bin gewifs, im Sinne des Verstorbenen zu handeln, wenn ich von dieser

Absicht hier Mittheilung mache. Taf. III—VIII sind unverändert aus der ersten Auflage übernommen worden.

Die oben bereits erwähnte Litteratur-Übersicht habe ich bis zum Schlusse des Jahres 1894 durchgeführt. Die Anordnung derselben schliefst sich im Wesentlichen der Eintheilung des ganzen Buches an. Bis zum Jahre 1865 boten die in der ersten Auflage am Ende eines jeden Paragraphen gemachten Litteraturangaben ein so vortrefflich geordnetes und vollständiges Material, dafs ich nur Weniges noch hinzufügen konnte. Von da an beginnt eigentlich erst meine Arbeit. Ich habe meine Zusammenstellungen, abgesehen von den allgemein verbreiteten Zeitschriften, nur aus secundären Quellen (Jahresberichten u. s. w.) machen können. Daher bitte ich zu entschuldigen, dafs manche Citate besonders bei der ausländischen Litteratur in bibliographischer Hinsicht unvollständig sind. Die Angaben reichen aber stets aus, um die betreffende Abhandlung zu finden. Aus demselben Grunde konnte ich auch manchmal nicht entscheiden, ob die citirte Stelle sich auf die Originalabhandlung oder nur auf ein Referat über dieselbe bezog. In solchen Fällen habe ich lieber möglicherweise ein blofses Referat aufgenommen, als den ganzen Hinweis fortgelassen. Wegen aller weiteren Einzelheiten verweise ich auf die besondere „Vorbemerkung", welche auf Seite 1011 vorausgeschickt ist. Hier möchte ich allen Fachgenossen nur die dringende Bitte aussprechen, die Litteratur-Übersicht auf Vollständigkeit und Richtigkeit zu prüfen und mir persönlich oder der Verlagsbuchhandlung die aufgefundenen Lücken und Fehler mitzutheilen. Alle Angaben sollen bei sich später darbietender Gelegenheit dankbar berücksichtigt werden.

Berlin, im October 1896.

Arthur König.

Verzeichnifs einiger Abkürzungen,

welche in den ältern Citaten gebraucht sind.

Bei den aus der neueren Litteratur gemachten Citaten hat sich leider kein einheitliches Verfahren bei den Abkürzungen durchführen lassen.

Der Band des betreffenden Werkes ist jedes Mal mit römischer Ziffer, die Seite mit arabischer bezeichnet; wo eine Zeitschrift mehrere Serien von Bänden umfafst, ist die arabische Nummer der Serie, eingeklammert (....). der römischen Zahl des Bandes vorausgesetzt worden.

1. Bericht über die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen der Königl. Preuss. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. — *Berl. Monatsber.*
2. Abhandlungen der mathematisch-physikalischen Klasse der Königl. Bair. Akademie der Wissenschaften. — *Abh. d. Münch. Ak.*
3. Abhandlungen der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. — *Abh. d. Kön. Ges. zu Göttingen.*
4. Göttingische gelehrte Anzeigen unter Aufsicht der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften. — *Götting. gel. Anz.*
5. Abhandlungen der Leipziger Akademie. *Abh. d. Sächs. Ges. d. Wiss.*
6. Berichte der Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. — *Leipz. Ber.*
7. Annalen der Physik und Chemie, herausgegeben von J. C. Poggendorff. — *Pogg. Ann.*
8. Journal für reine und angewandte Mathematik, herausgegeben von A. L. Crelle. — *Crelle's J.*
9. Notizen aus dem Gebiete der Natur- und Heilkunde, herausgegeben von Froriep und Schleiden. — *Fror. Not.*
10. Polytechnisches Journal, herausgegeben von J. G. Dingler und E. M. Dingler. — *Dingler's pol. J.*
11. *Archives des sciences physiques et naturelles par* de la Rive, Marignac *et* Pictet. — *Arch. d. sc. ph. et nat.* oder *Arch. de* Genève.
12. *Philosophical transactions of the Royal Society of London.* — *Phil. Trans.*
13. *Transaction of the Royal Society of Edinburgh.* — *Edinb. Trans.*
14. *Proceedings of the .... meeting of the British Association.* — *Rep. of Brit. Assoc.*
15. *The London, Edinburgh and Dublin philosophical Magazine and Journal of science, conducted by* Brewster, Taylor, Phillipps, Kane. — *Phil. Mag.*
16. *The Edinburgh new philosophical Journal, cond. by* R. Jameson. — *Edinb. J.*
17. *The American Journal of science and arts, cond. by* Silliman, B. Silliman *and* Dana. — *Sillim. J.*
18. *Mémoires présentés à l'Académie Royale de Bruxelles.* — *Mém. de Brux.*
19. *Bulletin de l'Académie Royale des sciences et belles lettres de Bruxelles.* — *Bull. de Brux.*
20. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Academie des Sciences de Paris.* — *C. R.*
21. *L'Institut, journal universel des sciences et des sociétés savantes en France et à l'étranger.* — *Inst.*
22. *Mémoires de l'Académie des Sciences à Paris.* — *Mém. de Paris.*

23. *Mémoires des savants étrangers, présentés à l'Académie des Sciences à Paris.* — *Mém. d. Sav. étr.*
24. *Annales de chimie et de physique par MM.* GAY-LUSSAC, ARAGO, CHEVREUL, DUMAS, PELOUZE, BOUSSINGAULT *et* REGNAULT. — *Ann. de ch. et de ph.*
25. *Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale.* — *Bull. de la Soc. d'enc.*
26. *Bulletin de la classe physico-mathématique de l'Académie impériale des Sciences de St. Pétersbourg.* — *Bull. de St. Pét.*
27. *Mémoires présentés à l'Académie impériale de St. Pétersbourg.* — *Mém. de Pétersb.*
28. Archiv für Ophthalmologie, herausgegeben von F. ARLT, F. C. DONDERS und A. v. GRAEFE. — *Arch. f. Ophthalm.*
29. Sitzungsberichte der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse. — *Wien. Ber.*
30. *Cosmos, revue encyclopédique hebdomadaire des progrès des Sciences, redigée par* MOIGNO. Paris. — *Cosmos.*
31. Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde, herausgegeben von F. C. DONDERS und W. BERLIN. — *Arch. f. d. holl. Beitr.*
32. Nederlandsch Archief voor Genees. en Natuurkunde, uitgegeven door F. C. DONDERS en W. KOSTER. — *Nederl. Arch.*
33. .... Jaarlijksch Verslag betrekkelijk de verpleging en het onderwijs in het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders. — *Jaarl. Versl. in het Nederl. Gasth.*
34. HENLE und PFEUFFER Zeitschrift für rationelle Medicin. — *Henle u. Pfeuffer Zeitschr.* oder *Zeitschr. f. rat. Med.*
35. Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin, herausgegeben früher von J. MÜLLER, jetzt von C. B. REICHERT und E. DU BOIS-REYMOND. — *J. Müller's Archiv* oder *Reichert und du Bois Archiv.*
36. Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. — *Jahresber. d. Frankf. Ver.*
37. *Athenaeum, journal of litterature, science and the fine arts.* — Athen.

Inhaltsverzeichniſs.

PHYSIOLOGISCHE OPTIK.

Erster Abschnitt.

Die Dioptrik des Auges.

SACH- UND NAMENREGISTER.

ÜBERSICHT ÜBER DIE PHYSIOLOGISCH-OPTISCHE LITTERATUR.

Anatomische Beschreibung des Auges.

§ 1. Formen des Sehorgans im Allgemeinen. 1

Die Augen der Thiere unterscheiden:

Entweder nur Hell und Dunkel. Dies ist wahrscheinlich bei den sogenannten Augenpunkten der niedersten Thierformen (Ringelwürmer, Eingeweidewürmer, Seesterne, Seeigel, Quallen, Infusionsthierchen) der Fall. Ein lichtempfindender Nerv, dessen peripherisches Ende dem Lichte zugänglich unter durchsichtigen Decken liegt, genügt zu diesem Zwecke. Das peripherische Ende des Nerven scheint meistens von verschiedenfarbigem Pigment umgeben zu sein, und verräth sich dadurch dem Beobachter. Doch wissen wir durchaus noch nicht, ob alle pigmentirten sogenannten Augenpunkte der niederen Thierformen wirklich zur Lichtempfindung dienen. Anderseits müssen wir aus der Empfindlichkeit, welche niedere Thiere ohne Augenpunkte für das Licht zeigen, schließen, daß auch lichtempfindende Nerven in durchsichtigen Thieren ohne Pigment vorkommen, die nur der Beobachter in keiner Weise als solche erkennen kann.

Oder die Augen unterscheiden nicht blos Hell und Dunkel, sondern auch Gestalten. Um das zu können, muß Licht, welches von gesonderten leuchtenden Punkten ausgeht, gesondert, d. h. mittels verschiedener Nervenfasern wahrgenommen werden. Es darf dann nicht mehr jede einzelne Nervenfaser von allen Seiten des Raums her Licht empfangen, sondern nur von einem beschränkten Theile des Raums. Jeder einzelnen Nervenfaser entspricht dann ein gewisses Gesichtsfeld, und es wird in der Wahrnehmung unterschieden werden können, in welchen dieser elementaren Gesichtsfelder leuchtende Körper liegen, in welchen nicht. Je kleiner jedes einzelne Gesichtsfeld ist und je größer ihre Gesammtzahl, desto kleinere Theile der uns umgebenden Körper können unterschieden werden, bis bei der höchsten Vollendung des Gesichtsorgans die einzelnen elementaren Gesichtsfelder gegen das Gesammtgesichtsfeld verschwindend klein werden. Für ein solches Organ können wir die Bedingung des deutlichen Sehens 2
so aussprechen: Licht, welches von einem leuchtenden Punkte der Außenwelt kommt, darf nur auf einen Punkt der lichtempfindenden Nervenmasse (Netzhaut) fallen.

Die Scheidung des Lichts, welches von verschiedenen Seiten des Raums kommt, geschieht

entweder durch trichterförmig gestellte, undurchsichtige Scheidewände (zusammengesetzte Augen der Wirbellosen),

oder durch Brechung des Lichts an gekrümmten brechenden Flächen (einfache Augen der Wirbellosen und Augen der Wirbelthiere).

Die Trennung der Augen, welche nur Hell und Dunkel, und derer, welche auch Gestalten wahrnehmen, ist keine scharfe. Schon bei den niedersten

Thierformen bewirken die Pigmentscheiden der lichtempfindenden Nervenfasern, dafs Licht nur von der freien Seite auf das Ende der Faser fallen kann, und mit Hülfe von Bewegungen seines Körpers wird ein Thier mit solchen Augenpunkten schon ermitteln können, von welcher Seite das meiste Licht kommt, ebenso wie der Mensch durch sein Hautgefühl die Richtung einstrahlender Wärme wahrnimmt, oder ein Kranker mit vollständig getrübter Krystallinse den Ort der Fenster eines Zimmers ermittelt. In dieser Beziehung haben die Pigmentscheiden der Augenpunkte offenbar einen sehr wesentlichen Nutzen. Wo, wie bei den Blutegeln und Planarien, vor der Nervensubstanz noch ein durchsichtiger kugeliger oder kegelförmiger Körper liegt, können schon verschiedene Theile der Netzhaut von dem aus verschiedenen Richtungen einfallenden Lichte verschieden stark getroffen werden. Von diesen findet ein allmählicher Fortschritt der Ausbildung statt durch die einfachen Augen der Crustaceen, Arachniden und Insecten, welche meist hinter der Hornhaut noch eine Linse und einen Glaskörper unterscheiden lassen, zu denen der Mollusken und namentlich der Cephalopoden, welche letzteren denen der Wirbelthiere schon sehr ähnlich sehen. Da die mikroskopischen Elemente der thierischen Gewebe, namentlich auch die des Nervensystems, in allen Klassen ziemlich gleiche Gröfse besitzen, und die Genauigkeit des Sehens wesentlich zusammenhängt mit der Menge einzelner empfindender Elemente, die Zahl dieser aber nahehin proportional sein mufs der hinteren Oberfläche des Glaskörpers der einfachen Augen, so ist im Allgemeinen wohl anzunehmen, dafs die Genauigkeit des Sehens dieser Augen ihren linearen Dimensionen direct proportional ist.

3 Vom Auge des Menschen habe ich in *Fig. 1.* einen horizontalen Querdurchschnitt abgebildet in viermaliger Vergröfserung; das Auge der Wirbelthiere ist dem menschlichen im wesentlichen ähnlich gebaut. Diese Augen schliefsen folgende durchsichtige Theile ein:

1) die wässrige Feuchtigkeit in der vorderen Augenkammer *B.*

2) die Krystallinse *A.*

3) den Glaskörper *C.*

Umschlofsen sind diese Theile von drei in einander liegenden Systemen von Häuten.

1) System der Netzhaut *i* und *Zonula Zinnii e*, schliefst zunächst den Glaskörper ein und heftet sich vorn an die Linse *A.*

2) System der *Uvea*, besteht aus der durch einen stärkeren schwarzen Strich angedeuteten Aderhaut *(Chorioidea) g*, dem Ciliarkörper *h* und der Regenbogenhaut *(Iris) b.* Es umschliefst das vorige System mit der Linse und hat nur an der vorderen Seite vor der Linse eine Oeffnung, die Pupille.

3) Die feste Kapsel des Augapfels, welche in ihrem gröfseren hinteren Theile aus der undurchsichtigen weifsen Sehnenhaut *(Sclerotica)* und in dem kleineren vorderen aus der durchsichtigen knorpeligen Hornhaut *(Cornea)* gebildet wird. Am lebenden Auge sieht man zwischen den Augenlidern den vorderen Theil der Sehnenhaut (das Weifse) und hinter der durchsichtigen

und hervorspringenden Hornhaut die braun- oder blaugefärbte ringförmige Iris, in deren Mitte die schwarze Pupille.

Eine Linie, welche durch den Mittelpunkt der Hornhaut und durch den
Mittelpunkt des ganzen Auges geht, nennt man die Axe des Auges, weil
das Auge wenigstens annähernd einem Rotationskörper mit dieser Axe ent- 4
spricht. Eine darauf senkrechte Ebene, welche durch die gröfste Weite des
Augapfels geht, nennt man dagegen die Äquatorialebene.

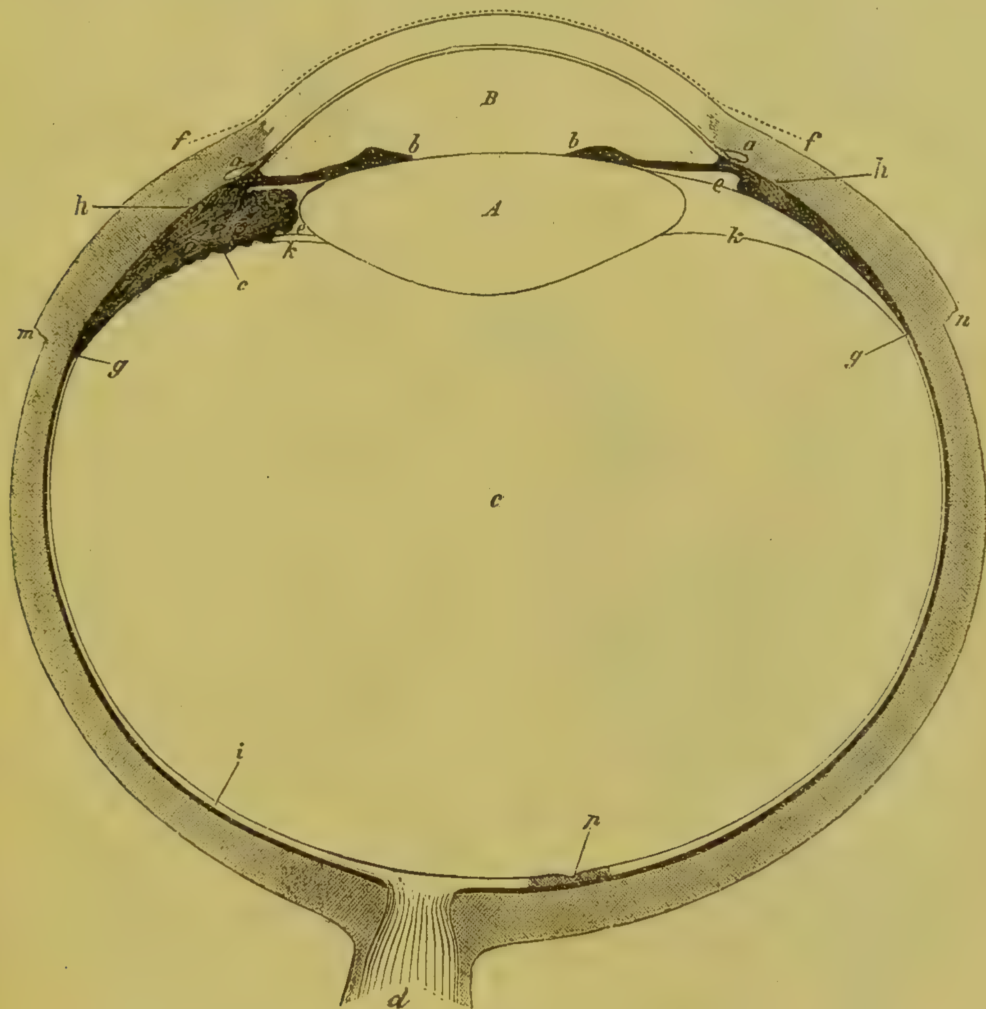


Fig. 1.

Ich werde im Folgenden eine Beschreibung der einzelnen Theile des Auges geben, dabei aber natürlich nur so weit in Einzelheiten gehen, als es für das Verständnifs der Functionen des Auges nothwendig ist.

§ 2. Sehnenhaut und Hornhaut.

Die Sehnenhaut des Auges (*σκληρὸν, tunica albuginea, sclerotica, dura,* harte Haut) umschliefst den gröfseren Theil des Augapfels, bedingt seine Gestalt und schützt ihn vor äufseren Einwirkungen. Ihre äufsere Form weicht merklich von der einer Kugel ab; ihre hintere Seite ist nämlich abgeplattet, und im Äquator wird sie oben und unten, rechts und links durch

den Druck der geraden Augenmuskeln etwas eingedrückt, während sie sich zwischen diesen Stellen stärker hervorwölbt. Der gröfste Durchmesser liegt bei den meisten Individuen von der Nasenseite und oben nach der Schläfenseite und unten. Vorn nimmt die Sehnenhaut die stärker gewölbte Hornhaut in sich auf, hinten und etwas nach der Nase herüber ist sie durchbohrt, um den Sehnerven *(Nervus opticus) Fig. 1. d* eintreten zu lassen, und geht hier in dessen sehnigen Überzug über. Die Sehnenhaut ist hinten und vorn dicker als in dem Äquator des Auges, wie dies die Figur zeigt. Die vordere Verdickung wird dadurch bedingt, dafs die Sehnen der Augenmuskeln sich an die Sehnenhaut anlegen und mit ihr verschmelzen. Bei *m* ist der Ansatzpunkt des inneren, bei *n* der des äufseren geraden Augenmuskels.

Das Gewebe der Sehnenhaut ist Sehnengewebe; es ist weifs, wenig durchscheinend, biegsam, fast unausdehnbar. Seiner chemischen Beschaffenheit nach gehört es zu den leimgebenden Stoffen. Mikroskopisch besteht es aus einem äufserst dichten und straffen Geflechte von Bindegewebfasern, welche meist der Oberfläche parallel verlaufen, und daher eine unvollkommene Spaltbarkeit der Haut in Lamellen zulassen. Dazwischen liegt, wie in anderen Sehnen, ein Netzwerk äufserst feiner elastischer Fasern, welche an den Stellen, wo sich ursprünglich ihre Bildungszellen befanden, Verdickungen mit Kernrudimenten zeigen.

5 Die Hornhaut ist vorn in die Sehnenhaut eingesetzt, und hat im Allgemeinen die Form eines stark gekrümmten Uhrglases. Ihre vordere Fläche schliefst sich ziemlich nahe einem Abschnitte eines Rotationsellipsoides an, welches um seine längere Axe gedreht ist. Das Ende dieser Axe liegt in dem Mittelpunkte der Hornhaut. Die Form der hinteren Fläche ist nicht sicher bekannt. Bei Erwachsenen ist die Hornhaut in der Mitte etwas dünner als am Rande.

Die Hornhaut besteht aus folgenden Schichten von aufsen nach innen:

1) Ein Epithelium, aus geschichteten Zellen von Hornsubstanz gebildet (Pflasterepithelium), in *Fig. 1* angedeutet durch die gebrochene Linie *f f*. Es setzt sich auf die Bindehaut der Augenlider fort. Die vordere Fläche dieses Epitheliums wird durch die fortdauernd zufliefsende Thränenfeuchtigkeit feucht und glatt erhalten.

2) Die faserige Schicht der Hornhaut (*Substantia propria corneae*) ist die mächtigste von allen, in der Figur weifs gelassen. Sie gehört nach ihrer chemischen Zusammensetzung den Knorpeln an, indem sie beim Kochen Chondrin giebt. Sie besteht aus einem ähnlichen Gewebe von Fasern, wie die Sehnenhaut, nur sind die Fasern zu platten Bündeln vereinigt, deren Fläche der Oberfläche der Hornhaut parallel läuft, daher auch die Hornhaut sich unvollkommen in Schichten trennen läfst. Beim Erwachsenen enthält die Hornhaut keine blutführenden Gefäfse, wohl aber zwischen den Faserbündeln ein System verästelter kernhaltiger Zellen, wie sie als unentwickeltes elastisches Gewebe in den meisten bindegewebigen Organen sich finden, und wahrscheinlich unterhalten diese den zur Ernährung der Hornhaut nöthigen Austausch von Flüssigkeiten durch die Substanz hin. Die Substanz der

Hornhaut erscheint bei der gewöhnlichen Beleuchtung vollkommen durchsichtig. Concentrirt man aber viel Licht durch eine Sammellinse auf einen Punkt der Hornhaut, so erscheint sie trüb, indem nun das von den Grenzflächen ihrer mikroskopischen Elemente zurückgeworfene Licht reichlich genug wird, um wahrgenommen zu werden.

3) Die DESCEMET'sche Haut (Wasserhaut, glasartige Lamelle der Hornhaut, auch *Membrana Demoursii)* ist eine structurlose, durchsichtige, brüchige Membran von 0,007 mm bis 0,015 mm Dicke. Wenn man sie von der Hornhaut trennt, rollt sie sich auf. Sie schliefst sich durch ihre Resistenz gegen kochendes Wasser, Säuren und Alkalien dem elastischen Gewebe an. Auf ihrer der wässrigen Feuchtigkeit zugewendeten Fläche trägt sie eine Schicht grofser polygonaler Epithelialzellen, welche in *Fig. 1* durch die Doppellinie auf der inneren Seite der Hornhaut angedeutet ist.

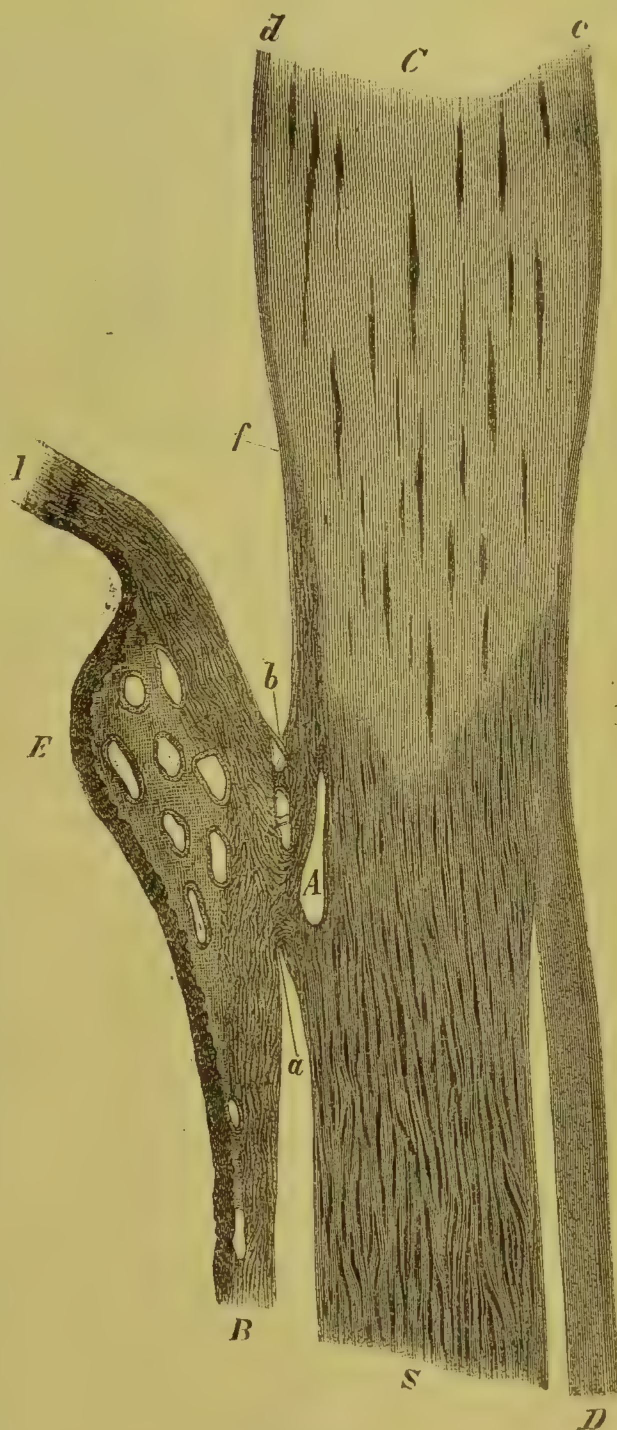


Fig. 2.

Die Grenzfläche zwischen Hornhaut und Sehnenhaut ist nicht senkrecht gegen die Oberfläche des Augapfels, sondern aufsen greift die Sehnenhaut, innen die Hornhaut weiter über. Auf der inneren Fläche ist die Grenze der Hornhaut ein ziemlich regelmäfsiger Kreis, von aufsen erscheint die Hornhaut dagegen queroval, weil oben und unten die Sehnenhaut etwas mehr übergreift als an den Seiten. Die Fasern der Hornhaut gehen an dieser Grenze unmittelbar in die der Sehnenhaut über.

Eigenthümlich verhält sich dagegen die DESCEMET'sche Haut an der Grenze der Hornhaut. In *Fig. 2* ist ein stark vergröfserter Querschnitt dieser Gegend dargestellt. Darin ist *S* die Sehnenhaut, *C* die Hornhaut, *c* ihr äufseres Epithelium, welches auf die Bindehaut *D* übergeht, *d* die DESCEMET'sche Haut. Von *f*

ab entspringt zwischen dieser und der Substanz der Hornhaut ein Netzwerk elastischer Fasern, während die DESCEMET'sche Haut selbst mit einem zugeschärften Rande zu enden scheint. Indem sich die Schicht elastischer Fasern von der Sehnenhaut trennt, und weiter hinten sich an eine Lamelle derselben ansetzt, entsteht hier an der Grenze zwischen Sehnenhaut und Hornhaut ein ringförmiger Kanal, der SCHLEMM'sche Kanal (*a* in *Fig. 1* und *A* in *Fig. 2*). Nach aufsen ist derselbe von der Sehnenhaut begrenzt, seine innere Wand besteht dagegen vorn aus elastischem Gewebe, hinten aus Sehnengewebe. An dieser inneren Wand sind die muskulösen Theile der Uvea befestigt. Der genannte Kanal scheint Blut zu führen.

Die Messungen der Dimensionen des Auges sind für die physiologische Optik von der gröfsten Wichtigkeit, aber meist mit vielen Schwierigkeiten verbunden, weil die Gestalt des ganzen Augapfels und seiner einzelnen Theile einmal bei verschiedenen Augen aufserordentlich verschieden ist, und zweitens nach dem Tode den mannigfachsten Veränderungen unterliegt. Die individuellen Verschiedenheiten sind so grofs, dass man Mittelwerthe aus Beobachtungen verschiedener Augen nur mit grofser Vorsicht anwenden darf. Wo es auf genaue und sichere Resultate ankommt, müssen alle wichtigeren Gröfsen durchaus an demselben Auge gemessen sein.

Was zunächst die äufsere Form des Augapfels anlangt, so hängt dieselbe vom Druck der Flüssigkeiten ab, die er einschliefst. Unmittelbar nach dem Tode entleert sich ein grofser Theil seiner Blutgefäfse, wobei sich der Druck natürlich verringert; dann vermindert sich allmälich die innere Flüssigkeitsmenge auf endosmotischem Wege noch mehr, so dafs der Augapfel schlaff wird, und die Häute, namentlich die Hornhaut, sich falten. Messungen über die Form des Augapfels müssen daher entweder an sehr frischen Augen angestellt werden, oder man mufs, wie BRÜCKE[1], den Druck künstlich wiederherstellen, indem man durch den Sehnerven eine Canüle einstöfst und diese mit einer senkrechten, eine Wassersäule von etwa 0,4 m enthaltenden Röhre in Verbindung bringt. Diese Methode genügt, um die verschiedenen Durchmesser des Augapfels zu messen. Aber für eines der wichtigsten optischen Elemente des Auges, die Hornhautkrümmung, genügt es nicht den Druck nur annähernd herzustellen. Der Krümmungsradius des Scheitels der Hornhaut wird, wie ich durch eine unten beschriebene Messungsmethode gefunden habe, desto gröfser, je gröfser der Druck. Der Grund hiervon ist wohl darin zu suchen, dafs eine membranöse Hülle, welche Flüssigkeit umschliesst, sich desto mehr der Form einer Kugel nähern mufs, je gröfser der Druck der Flüssigkeit ist, weil die Kugel unter den Körpern mit gleich grofser Oberfläche das gröfste Volumen hat. Wenn dies beim Auge eintritt, wird namentlich die einspringende Rinne zwischen Hornhaut und Sehnenhaut herausgedrängt werden müssen, und dadurch die Hornhaut weniger gewölbt werden.

Unter diesen Umständen ist es offenbar ein wesentliches Bedürfnifs, dafs so viel als möglich alle wichtigeren Gröfsenverhältnisse des Augapfels an lebenden Augen bestimmt werden.

Die älteren Messungen des Auges sind meist nur mit dem Zirkel ausgeführt. C. KRAUSE, welcher ein sehr ausgedehntes System von Messungen durchgeführt hat, hat zuerst die äufseren Dimensionen des Auges mit dem Zirkel abgemessen; dann hat er die Augen, nachdem er sich die Schnittlinie vorher bezeichnet hatte, halbirt, und zwar Hornhaut, Iris und Linse durch einen Schnitt des Rasirmessers, die Sehnenhaut mit der Scheere, die Hälften dann in ein Schälchen voll Eiweifslösung gelegt, so dafs die Schnittfläche sich dicht unter der Oberfläche der Flüssigkeit befand. So mafs er die Dimensionen des Querschnitts, theils mit dem Zirkel, theils mit einem gegitterten Glasmikrometer im

---

[1] E. BRÜCKE, *Anat. Beschreibung des menschl. Augapfels.* Berlin 1847. S. 4.

Oculare eines schwach vergröfsernden Mikroskops, theils mit einem quadratischen Drahtnetze, welches auf die Oberfläche der Flüssigkeit gelegt wurde. Er hatte vielfach Gelegenheit sehr frische Augen anzuwenden; bei diesen können die äufseren Messungen 7 der Sclerotica als hinreichend zuverlässig angesehen werden, die Wölbung der Hornhaut, deren Gröfse vom Drucke der Flüssigkeiten abhängt, ist aber wohl an den durchschnittenen Augen beträchtlich verändert gewesen.

Ich gebe hier KRAUSE's Tafel für die Form von 8 Augäpfeln.[1] Es ist Nr. I von einem 30jährigen ertrunkenen Manne, Nr. II das rechte Auge eines 60jährigen Mannes, durch einen Schnitt in den Hals getödtet, Nr. III und IV das linke und rechte Auge eines 40jährigen Mannes, erhängt, Nr. V und VI das linke und rechte Auge eines 29jährigen, Nr. VII und VIII dieselben eines 21jährigen Mannes, die beiden letzten mit dem Schwerte hingerichtet. Die Maafse sind in Pariser Linien angegeben.

Nr.	Axe des Auges		Durchmesser					
			transversal.	senkrechter		diagonaler		
						grofser		kleiner
	äufsere	innere		äufserer	innerer	äufserer	innerer	
I.	10,9	9,85	10,9	10,8	9,9	11,25	10,3	
II.	11,05	10,0		10,3	9,4	11,1	10,2	11,05
III.	10,7	9,8	10,7	10,5	9,6	11	10,2	10,6
IV.	10,5	9,5	10,6	10,3	9,5	10,9	10,1	10,7
V.	10,8	9,55	10,9	10,55	9,6	11,3	10,35	11
VI.	10,8	9,55	11	10,6	9,45	11,3	10,2	11,1
VII.	10,65	9,4	10,75	10,3	9,45	10,75	9,6	10,75
VIII.	10,65	9,45	10,75	10,3	9,15	10,9	9,75	10, 7

BRÜCKE hat Messungen an Augen angestellt, welche durch einen Wasserdruck von 4 Decimeter gespannt waren, und giebt an, dafs die Axe des Augapfels zwischen 23 und 26 mm betrage, der gröfste horizontale Durchmesser zwischen 22,8 und 26 mm, der gröfste verticale zwischen 21,5 und 25 mm.

C. KRAUSE vergleicht die innere Wölbung der Sclerotica mit der Fläche eines Rotationsellipsoides; die Axen, welche er berechnet hat, und seine Angaben über Dicke der Hornhaut und Sclerotica an verschiedenen Stellen führe ich hier noch an.

Nr.	Dicke der Sehnenhaut			Halbe Axen des Ellipsoides der inneren Wölbung		Dicke der Hornhaut	
	in der Augenaxe.	am Äquator.	am vorderen Rande.	grofse	kleine	Mitte	Rand
I.	0,55	0,45	0,35	5,12	4,45	0,4	0,5
II.	0,5	0,35		5,05	4,15	0,35	0,5
III.	0,45	0,4	0,35	5,12	4,23	0,4	0,5
IV.	0,5	0,4	0,3	5,07	4,41	0,4	0,45
V.	0,65	0,4	0,3	5,14	4,58	0,5	0,55
VI.	0,65	0,5	0,3	5,05	4,43	0,48	0,55
VII.	0,55	0,5	0,4	5,05	4,41	0,53	0,63
VIII.	0,6	0,5	0,4	4,93	4,19	0,5	0,62

---

[1] Zusammenstellungen von Messungen s. in ZEHENDER, *Anleitung zum Studium der Dioptrik des menschlichen Auges.* Erlangen 1856, und MERKEL, *Makroskopische Anatomie des Auges*, (GRAEFE und SAEMISCH *Handbuch der Augenheilkunde.* Leipzig 1874. Bd. I. Th. 1.) S. 44.

Die Messungen von C. Krause über die Form der Hornhaut übergehe ich hier, weil deren Methode für ein so wichtiges Element nicht zuverlässig genug erscheint. Ich bemerke nur, dafs er die vordere Wölbung der Hornhaut für eine Kugelfläche, die hintere für den Scheitel eines Rotationsparaboloides erklärt. Betreffs der Dicke fand ich an einigen Hornhäuten, die ich untersuchte, dafs die Dicke in den mittleren zwei Vierteln des Querschnitts fast constant war, und erst gegen den Rand hin schnell zunahm, so dafs in der Mitte die Krümmungskreise der beiden Flächen nahe concentrisch zu sein scheinen.

8 R. H. Kohlrausch hat an lebenden Augen den Krümmungsradius der Hornhaut dadurch zu messen gesucht, dafs er die Gröfse der Spiegelbilder auf der Hornhaut bestimmte. Der, dessen Auge untersucht werden sollte, safs auf einem sehr massiven Stuhle mit hoher Lehne. Sein Kopf wurde durch eine besondere Vorrichtung gehalten, wodurch es ihm leicht wurde, vollkommen ruhig zu sitzen. Er fixirt einen kleinen weifsen Punkt, der auf dem Mittelpunkte des Objectivs eines auf 2 bis 3 Fufs Entfernung zu gebrauchenden Kepler'schen Fernrohrs angebracht ist. Das Fernrohr ist auf das Auge gerichtet, und zwar so, dafs der besagte weifse Punkt in derselben Horizontalebene mit dem Mittelpunkte der Hornhaut liegt. In dem Brennpunkte des Oculars sind zwei Spinnfäden parallel gespannt, welche, ohne ihren Parallelismus zu verlieren, durch Schraubenbewegung einander genähert werden können. Auf jeder Seite, wieder in derselben Horizontalebene, steht ein Licht, dessen Schein durch eine runde Öffnung in einem kleinen Schirme auf das Auge fällt und von diesem reflectirt wird, so dafs im Fernrohre zwei kleine Bilder der leuchtenden Punkte erscheinen. Nachdem die Spinnfäden auf diese genau gerichtet sind, wird an die Stelle des Auges ein wohlgetheilter Maafsstab gebracht, und auf diesem die Entfernung der spiegelnden Stellen der Hornhaut abgelesen. Aus dieser Entfernung, aus dem Abstande des Auges von den Öffnungen in den Lichtschirmen und dem Mittelpunkte des Objectivs, und endlich aus der Entfernung der letztgenannten Punkte von einander wurde der Radius der Hornhaut annäherungsweise berechnet.

Kohlrausch fand aus Messungen an 12 Augen im Mittel 3,495 Par. Lin. (7,87 mm), als kleinsten Werth 3,35, als gröfsten 3,62, und berechnet den wahrscheinlichen Fehler der einzelnen Bestimmungen auf 0,02.

Senff hat nach einer ähnlichen, aber nicht genauer beschriebenen Methode nicht blofs die Krümmungshalbmesser, sondern auch die Ellipticität der Hornhaut bestimmt und giebt folgende Resultate an:

	Krümmungshalbmesser im Scheitel.	Quadrat der Excentricität.	Grofse Axe.	Kleine Axe.	α
Rechtes Auge. Vertical.	7,796	0,1753	9,452	8,583	3°,6
Rechtes Auge. Horizontal.	7,794	0,2531	10,435	9,019	2°,9
Linkes Auge. Vertical.	7,746	0,4492	11,243	8,344	1°,6

Den Winkel α nennt Senff den Winkel zwischen dem Scheitel der Ellipse und dem Endpunkte der Augenaxe. Jener liegt von diesem in den verticalen Durchschnitten nach unten, in dem horizontalen nach aussen. Wahrscheinlich versteht Senff hier unter Augenaxe dasselbe, was wir später als Gesichtslinie definiren werden.

Die gröfste Schwierigkeit bei diesen Messungen ist die, das Auge und den Kopf des Untersuchten gehörig zu befestigen. Bei einer jeden Messungsmethode der Bilder, wobei man erst abzulesen hat, mit welchem Theilstriche der gewählten Scale der eine Rand des Hornhautbildes, und dann, mit welchem der andere zusammentrifft, wird jede kleinste Verschiebung des Kopfes zwischen den beiden Ablesungen zur Gröfse des Bildes addirt oder davon subtrahirt werden. Ich habe deshalb ein Mefsinstrument construirt, welches diese und andere Messungen am Auge genau auszuführen erlaubt, ungestört durch

die kleinen Schwankungen des Kopfes, und es eben deshalb Ophthalmometer genannt, obgleich es auch zu einer grofsen Menge anderer Messungen, namentlich zu Messungen optischer Bilder mit Vortheil anzuwenden ist. Wenn wir durch eine planparallele Glasplatte, die wir schräg gegen die Gesichtslinie halten, nach einem Gegenstande blicken, sehen wir diesen in seiner natürlichen Gröfse, aber um ein wenig seitlich verschoben, und diese Verschiebung ist desto gröfser, je kleiner der Winkel zwischen den Lichtstrahlen und den Flächen der Platte wird. Das Ophthalmometer ist im Wesentlichen ein Fernrohr, zum Sehen auf kurze Distanzen eingerichtet, vor dessen Objectivglase neben einander zwei Glasplatten stehen, so dafs die eine Hälfte des Objectivglases durch die eine, die andere durch die andere Platte sieht. Stehen beide Platten in einer gegen die Axe des Fernrohrs senkrechten Ebene, so erscheint nur ein Bild des betrachteten Objects,

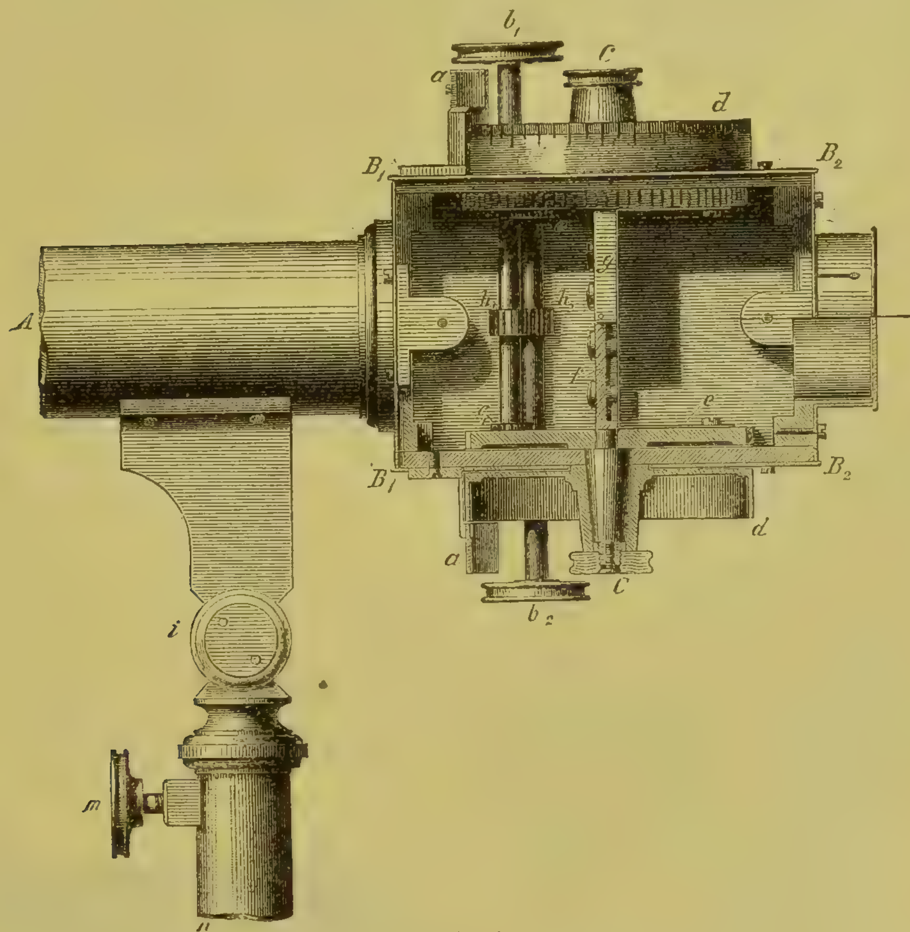


Fig. 3.

dreht man aber beide Platten ein wenig und zwar nach entgegengesetzten Seiten, so 9
theilt sich das einfache Bild in zwei Doppelbilder, deren Entfernung desto gröfser wird, je gröfser der Drehungswinkel der Glasplatten. Diese Entfernung der Doppelbilder aber kann aus den Winkeln, welche die Platten mit der Axe des Fernrohrs machen, berechnet werden. Stellt man die beiden Doppelbilder einer zu messenden Linie so auf einander ein, dafs sie sich gerade mit ihren Enden berühren, so ist die Länge der Linie gleich der Entfernung der beiden Doppelbilder von einander und wie diese zu berechnen.

Das Instrument ist in *Fig. 3* in einer verticalen Ansicht gezeichnet, in *Fig. 4* in einem horizontalen Durchschnitte, in halber natürlicher Gröfse. Der viereckige Kasten B_1 B_1 B_2 B_2, welcher die ablenkenden Glasplatten enthält, ist am vorderen Ende des Fernrohrs A befestigt. In *Fig. 3* ist die vordere Wand des Kastens weggenommen, und aufserdem sind alle Theile der unteren Hälfte in der Mittelebene durchschnitten gedacht. Die Grundlage des Kastens bildet ein starker viereckiger Rahmen, den man in *Fig. 3*

rings um den Kasten laufen sieht; an diesen sind dünne Messingplatten als Wände befestigt, wie namentlich in *Fig. 4* sichtbar ist. In der Mitte der horizontalen Theile des Rahmens sind conische Durchbohrungen vorhanden, in denen die Drehungsaxen *C C* der beiden Gläser laufen. Jede der Axen trägt aufserhalb des Kastens eine Scheibe *d*, deren cylindrischer Umfang in Winkelgrade getheilt ist; bei *a* ist ein Nonius angebracht, mittels dessen Zehntheile eines Grades abgelesen werden können. Innerhalb des Kastens trägt jede Axe zunächst ein Zahnrad *e e* und einen Metallrahmen *g*, in welchem die Glasplatte *f* befestigt ist. Der Rahmen jeder Platte hat aber nur drei Seiten, die der anderen Glasplatte zugekehrte Seite desselben fehlt. Die beiden Glasplatten bildeten ursprünglich eine planparallele Platte. Für diese wurde ein vollständiger Metallrahmen gemacht und zwischen den Flächen der beiden Zahnräder befestigt, dann die Axen abgedreht und endlich der Rahmen in der Mitte durchschnitten. Eben so wurde das Glas durchschnitten, jede Hälfte in der entsprechenden Hälfte des Rahmens befestigt. So wurde eine genau übereinstimmende Stellung der Platten auf den beiden Axen erreicht. Bewegt werden die Zahnräder durch die Triebe c_1 und c_2, die an den Axen b_1 c_1 und b_2 c_2 befestigt sind. Jede dieser Axen trägt aufserdem in ihrer Mitte einen Trieb *h*. Dreht man den Knopf bei b_1, so wird mittels des Triebes c_1 das untere Zahnrad mit der unteren Glasplatte bewegt. Aufserdem greift der Trieb h_1 in den Trieb h_2, und dreht die zweite Axe b_2 c_2 um eben so viel in der entgegengesetzten Richtung. Infolge davon wirkt auch der Trieb c_2 auf das obere Zahnrad, und dreht dieses mit der oberen Glasplatte um einen nahe eben so grofsen Winkel wie die untere Platte. Gemessen wird die Drehung jeder Platte mittels der aufserhalb des Kastens auf die Drehungsaxe aufgesetzten getheilten Scheiben.

Es ist nothwendig, zwei Platten anzubringen, welche um nahe gleiche Winkel gedreht werden, weil die Bilder der durch die Platten gesehenen Objecte nicht blofs seitlich verschoben, sondern auch ein wenig genähert werden, und wenn die Näherung für die beiden Bilder desselben Gegenstandes ungleich grofs ist, man das Fernrohr nicht gleichzeitig auf beide genau einstellen kann.

In das vordere Ende des Fernrohrs sind zwei Objectivlinsen einzusetzen, *k* und *l*. Die achromatische Doppellinse *k* allein wird gebraucht, wenn man entferntere Objecte zu betrachten hat. Ihre biconvexe Crownglaslinse wird wie gewöhnlich dem Objecte zugekehrt. Will man dagegen sehr nahe Objecte betrachten, so giebt eine einzelne Linse kein gutes Bild mehr, weil diese Linsen darauf berechnet sind, parallel einfallende Strahlen in einen Punkt zu vereinigen. Deshalb setze ich dann eine zweite achromatische Doppellinse *l* ein, deren Crownglas der andern zugekehrt wird. Steht dann das Object im vorderen Brennpunkte dieser zweiten Linse, so macht sie die Strahlen parallel, die erste Linse vereinigt die parallelen Strahlen in ihrem hinteren Brennpunkte. Dadurch erhält man schärfere Bilder. Die Brennweite von *k* ist bei meinem Instrumente 6 Zoll, die von *l* 16 Zoll. Das Fernrohr ruht auf einer Säule *n*, in der ein Cylinder gedreht, so wie auch auf und ab bewegt werden kann. Auf diesem ist mittels des Charniergelenks *i* das Fernrohr befestigt. So kann man der Fernrohraxe beliebige Stellungen geben. Aufserdem ist auch der Kasten mit den Gläsern drehbar um das vordere Ende des Fernrohrs.

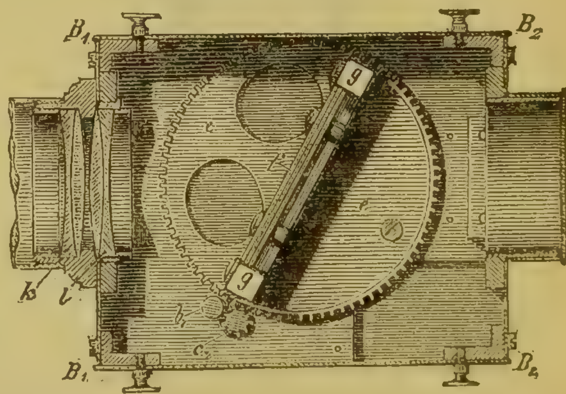


Fig. 4.

10 Zunächst will ich nachweisen, wie die Verschiebung der Bilder aus dem Drehungswinkel der Glasplatten zu finden ist.

Es sei in *Fig. 5* $A_1\, A_1\, A_2\, A_2$ eine der Glasplatten, $a_1\, c_1$ der einfallende, $c_1\, c_2$ der gebrochene, $c_2\, a_2$ der hindurchgegangene Strahl; $b_1\, c_1\, d_2$ das erste, $b_2\, c_2\, d_1$ das zweite Einfallsloth. Der Einfallswinkel $b_1\, c_1\, a_1$, welcher dem Winkel $b_2\, c_2\, a_2$ gleich ist, werde mit α, der Brechungswinkel $d_2\, c_1\, c_2$, welcher gleich ist mit $c_1\, c_2\, d_1$, mit β bezeichnet und die Dicke der Platte mit h. Wird der Strahl $a_2\, c_2$ rückwärts verlängert, so scheint der leuchtende Punkt a_1 für ein unterhalb der Platte befindliches Auge in dieser Verlängerung von $a_2\, c_2$ zu liegen. Fällt man von a_1 ein Loth $a_1\, f$, dessen Länge wir x nennen wollen, auf die genannte Verlängerung, so ist dies x die scheinbare seitliche Verschiebung des leuchtenden Punktes. Es ist

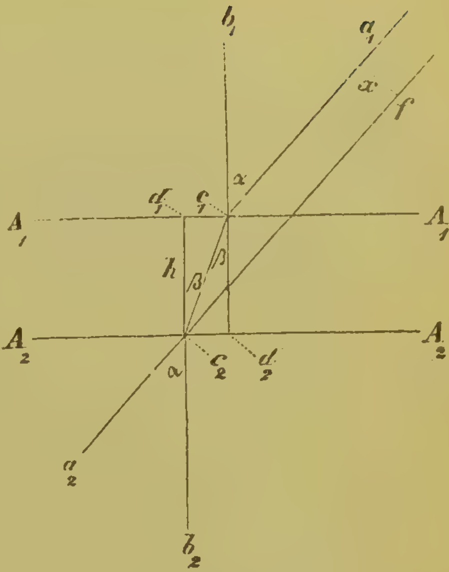


Fig. 5.

$$x = c_1\, c_2 \,.\, \sin \angle\, c_1\, c_2\, f$$

$$c_1\, c_2 = \frac{h}{\cos \beta}$$

$$\angle\, c_1\, c_2\, f = \angle\, d_1\, c_2\, f - \angle\, d_1\, c_2\, c_1$$

$$= \alpha - \beta$$

$$x = h \,.\, \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}\,.$$

Der Winkel α wird durch das Instrument gemessen; die Dicke der Glasplatte h mufs bekannt sein, ebenso ihr Brechungsverhältnifs n gegen Luft. Dann ist

$$\sin \alpha = n \,.\, \sin \beta.$$

Aus dieser Gleichung ist β zu finden, und dann sind alle Stücke zur Berechnung von x bekannt. Benutzt man zwei drehbare Platten, wie in dem Instrumente, welches ich beschrieben habe, geschieht, so ist die Entfernung E zweier beobachteten Punkte, deren Bilder man auf einander gestellt hat, doppelt so grofs als x, also

$$E = 2h \,.\, \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Die Werthe von n und h, die bei dieser Rechnung nöthig sind, findet man am besten durch Ausmessung der Theile eines guten Millimetermaafsstabs mit dem Instrument. Man stellt den Maafsstab horizontal in passender Entfernung vor dem Instrumente auf, senkrecht gegen die Axe des Fernrohrs gerichtet, und achtet darauf, dafs bei der Drehung der Platten die Längskanten des Stabes genau in sich selbst verschoben werden. Am genauesten, finde ich, sind die Doppelbilder so einzustellen, dafs die Theilstriche des einen die Zwischenräume des andern genau halbiren, so dafs die gegenseitige Verschiebung der Bilder 0,5 oder 1,5 oder 2,5 u. s. w. Millimeter beträgt. Dann erscheint der Stab wie in halbe Millimeter eingetheilt, und man erkennt sehr sicher, ob die einzelnen Intervalle alle gleich, oder abwechselnd gröfser und kleiner sind. So bekommt man eine Reihe von Werthen des Winkels α, die zu gegebenen Entfernungen E gehören.

Seien E und E_1 zwei verschiedene Werthe von E, α und α_1 sowie β und β_1 die dazu gehörigen Werthe der Winkel, so ergiebt Gleichung 1)

$$\frac{E_1}{E} = \frac{\sin(\alpha_1 - \beta_1) \,.\, \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta) \,.\, \cos \beta_1} = \varepsilon$$

worin ε nur eine kürzere Bezeichnung für das Verhältnifs der beiden E ist. Indem man die Sinus der Differenzen auflöst, und $\sin \beta = \frac{1}{n} \,.\, \sin \alpha$ setzt, erhält man:

$$\sin \alpha_1 \,.\, \Big[n \,.\, \cos \beta_1 - \cos \alpha_1 \Big] \,.\, \cos \beta = \varepsilon \,.\, \sin \alpha \,.\, \Big[n \,.\, \cos \beta - \cos \alpha \Big] \,.\, \cos \beta_1\,,$$

oder

$$n = \frac{\sin \alpha_1 \,.\, \cos \alpha_1 \,.\, \cos \beta - \varepsilon \,.\, \sin \alpha \,.\, \cos \alpha \,.\, \cos \beta_1}{\sin \alpha_1 \,.\, \cos \beta_1 \,.\, \cos \beta - \varepsilon \,.\, \sin \alpha \,.\, \cos \beta \,.\, \cos \beta_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1a)$$

Auf der rechten Seite sind α und α_1 bekannt, β und β_1 allerdings nur bei Kenntnifs von n zu berechnen. Da aber die beiden letzteren Winkel nicht grofs werden können, sind ihre Cosinus nicht sehr weit von 1 unterschieden. Man findet $\cos \beta$ und $\cos \beta_1$ also schon mit sehr geringem Fehler, wenn man von einem angenähert richtigen Werthe von n ausgeht, etwa 1,6. Dann kann man Gleichung 1a) benutzen, um einen genaueren Werth für n zu finden, mit diesem wieder bessere Werthe von $\cos \beta$ und $\cos \beta_1$, u. s. f. Man fährt so fort, so lange die neu gefundenen Werthe des n noch die Werthe von $\cos \beta$ und $\cos \beta_1$ merklich ändern. Gewöhnlich wird die zweite Berechnung von n schon genügen.

10 Dieselbe Stellung der Doppelbilder, welche bei einer Drehung um α Grade stattfindet, tritt auch ein bei einer Drehung um $- \alpha$, um $180 - \alpha$ und um $\alpha - 180$ Grade. Um Fehler der Theilung und des Parallelismus der Glasplatten zu eliminiren, ist es rathsam, bei diesen vier Stellungen jede Messung zu wiederholen und aus den vier gefundenen Zahlen das Mittel zu nehmen.

Einer der wichtigsten Vortheile des Ophthalmometers ist, dafs die lineare Gröfse der scheinbaren Entfernung seiner Doppelbilder unabhängig ist von dem Abstande des Objects. Man braucht also den letzteren nicht zu kennen, um die Messungen auszuführen. Sollten indefs die Glasplatten schwach gekrümmte Oberflächen haben, so würde der Abstand des Objects nicht einflufslos sein. Daraufhin ist jedes Ophthalmometer zu untersuchen.

Wenn man das beschriebene Instrument zur Messung eines Hornhautbildes anwendet, wird man von kleinen Schwankungen des Kopfes des Beobachteten durchaus nicht gehindert, da beide Doppelbilder immer in derselben Weise sich mitbewegen, und ihre Stellung zu einander nicht geändert wird. Ist gleichzeitig das Object des Hornhautbildes weit genug entfernt, dafs die kleinen Schwankungen des Kopfes gegen seine Entfernung verschwinden, so wird auch die Gröfse des Bildes nicht merklich durch die Schwankungen verändert, und es genügt daher zur Befestigung des Kopfes, dafs man das Kinn leicht aufstützen lässt.

11 Das Instrument erlaubt nur kleine Distanzen zu messen, bis zur Gröfse von etwa 4 mm oder 2 Linien. Mittels des Nonius werden $^1/_{10}$ Grade abgelesen, welche im Durchschnitt etwa $^1/_{300}$ mm entsprechen. Mittels einer leichten Veränderung kann man es aber auch geschickt machen, gröfsere Entfernungen zu messen. Zu dem Ende setzt man an Stelle des Deckels C am vorderen Ende des Instruments eine Concavlinse ein, deren Brennpunkt so weit vor dem Instrumente liegt, als der vordere Brennpunkt der ersten achromatischen Objectivlinse m. Bei dieser Veränderung mifst das Instrument die lineare Gröfse der im Brennpunkt der Concavlinse entworfenen Bilder ferner Gegenstände. Da diese Bilder stark verkleinert sind, so entsprechen ihre Dimensionen viel gröfseren des Gegenstandes. Entfernt man dann den gemessenen Gegenstand, bringt an seine Stelle einen Maafsstab, und mifst dessen Theilstriche bei derselben Einrichtung des Instruments, so erhält man die absolute Gröfse des Gegenstandes. Für sehr entfernte Gegenstände wirkt das Instrument dann dem Heliometer gleich: es mifst die Gesichtswinkel.

Die Gröfse der Drehung der zwei Platten eines Instruments differirt gewöhnlich um einige Zehntel eines Grades; zur Rechnung ist das Mittel beider Zahlen zu nehmen.

Um eine gröfsere Genauigkeit zu erreichen, kommt viel darauf an, dafs man die Orte, deren Entfernung zu messen ist, passend durch die Erleuchtung markirt. Sehr genau ist namentlich die Breite eines geraden hellen Streifens mit parallelen Rändern auf dunklem, oder eines eben solchen dunkeln auf hellem Grunde zu messen. Wenn man die beiden Doppelbilder eines solchen Streifen zur Berührung bringt, zeichnet sich die kleinste Entfernung oder das kleinste Übereinandergreifen der Bilder durch eine feine schwarze oder helle Linie ab, für deren Wahrnehmung das Auge sehr empfindlich ist; bei genauer Berührung verschwindet die Grenze beider Bilder fast ganz. Oder man kann auch den einen Ort durch einen feinen hellen Punkt, den andern durch zwei solche einander sehr nahe stehende markiren, und nun das eine Bild des ersten genau in die

Mitte zwischen die zwei anderen einstellen. Auf die grofse Genauigkeit, welche diese Art der Einstellung zuläfst, hat schon BESSEL bei der Messung der Sternparallaxen durch das Heliometer aufmerksam gemacht.

Wenn wir das Ophthalmometer zur Messung der Hornhautkrümmung anwenden wollen, so müssen wir auf der Hornhaut das Spiegelbild eines äufseren Objects von bekannter Gröfse und Entfernung erzeugen. Die Gröise dieses Spiegelbildes ist zunächst durch das Ophthalmometer zu messen. Die Entfernung des gespiegelten Objects vom beobachteten Auge mufs so grofs sein, dafs die kleinen Schwankungen in der Stellung dieses Organs dagegen vernachlässigt werden können.

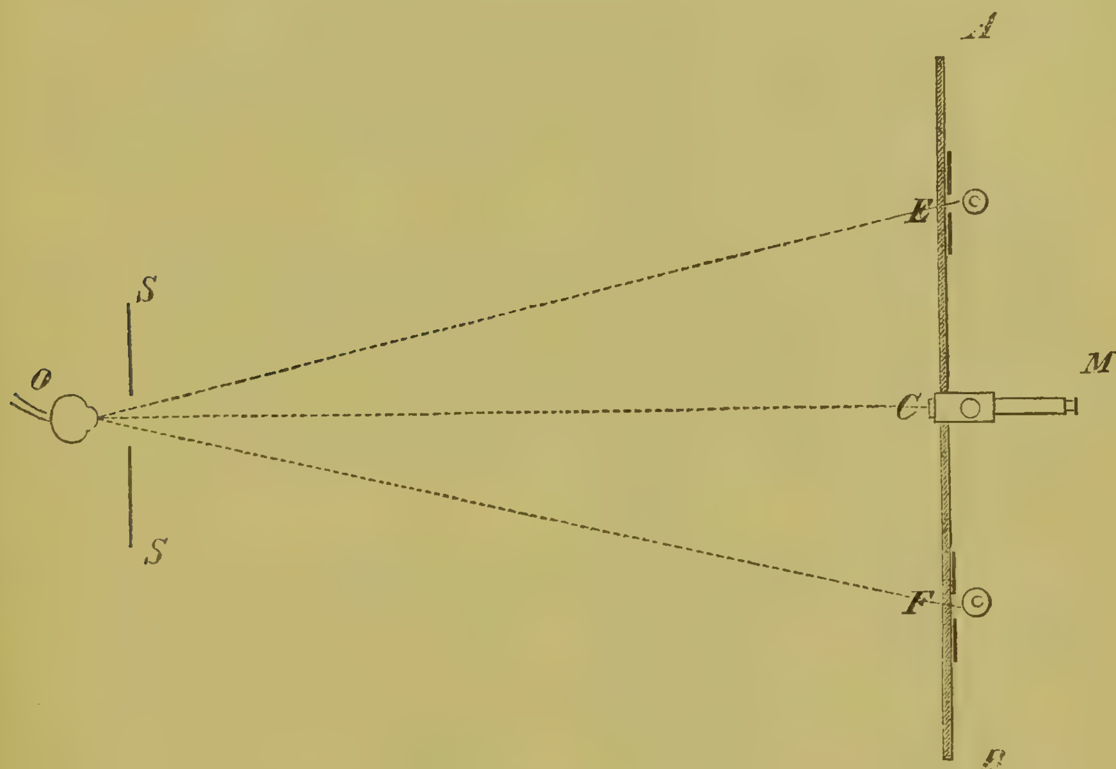


Fig. 6.

Die Anordnung des hierher gehörigen Apparates ist in *Fig.* 6 im Grundrisse dargestellt. Der Beobachtete sitzt an einem Tische; die Lage seines Auges ist so weit als nöthig dadurch gesichert, dafs er durch eine Öffnung von etwa 1 Zoll Durchmesser des vor ihm stehenden Pappschirms SS zu blicken angewiesen ist. Das beobachtete Auge ist in der Figur mit O bezeichnet. Sechs bis acht Fufs davon entfernt, und etwa 1 Zoll niedriger als das Auge, ist ein in Centimeter getheilter Maafsstab AB horizontal angebracht. Den Fufspunkt C des von O auf AB gefällten Lothes ermittelt man leicht dadurch hinreichend genau, dafs man an die hintere Seite des Maafsstabes einen Glasspiegel anlegt, dessen Ebene dabei also der Linie AB parallel wird, und bemerkt, über welchem Theilstriche C des Maafsstabes das Auge O sich selbst gespiegelt sieht. Nun mifst man von C aus nach beiden Seiten hin zwei gleiche Entfernungen CE und CF ab, jede ungefähr gleich $^1/_4$ OC, und bringt an der Vorderseite des Maafsstabes Pappschirme an, von denen der eine eine runde Öffnung, der andere zwei solche übereinander enthält. Die beiden durch die Mittelpunkte dieser Öffnungen gehenden Verticallinien

müssen den Theilstrichen E und F entsprechen. Hinter den Schirmen werden Lampen angebracht, deren Licht durch die Öffnungen auf das Auge O fällt. Die Linie EF, deren eines Ende somit durch einen lichten Punkt, das andere durch zwei bezeichnet wird, ist das Object, dessen Spiegelbild in der Hornhaut gemessen werden soll. Um nun noch die Stellung des Ophthalmometers M zu bestimmen, bringt man an den Theilstrich C einen durch ein Gewicht gespannten Faden, visirt an diesem vorbei nach der Mitte der Öffnung des Schirmes S, durch welche das Auge O sieht, und läfst, so dafs sie vom Faden gedeckt wird, auf der Tischplatte eine Linie ziehen, auf welcher der Mittelpunkt des Fufses des Ophthalmometers sich befinden mufs. Hat man das Ophthalmometer fest aufgestellt, auf das Auge O gerichtet, und für dasselbe eingestellt, so bemerkt man jede Verschiebung des Auges senkrecht gegen die Axe des Fernrohrs daran, dafs es im Gesichtsfelde die Mitte des Fadenkreuzes verläfst, und kann seine Stellung verbessern lassen. Aufserdem kann sich das Auge auch nicht viel in Richtung der Gesichtslinie des Beobachters nähern oder entfernen, ohne dafs sein Bild undeutlich wird. So ist die Stellung des Auges bis auf wenige Linien gesichert, und zugleich läfst sich die Stellung, welche es hatte, nach beendeter Beobachtung leicht ermitteln, indem man irgend einen Körper aufstellt, der in der Mitte des Gesichtsfeldes des Fernrohrs deutlich erscheint. Ein solcher mufs alsdann auch an dem früheren Orte des Auges stehen, und von ihm aus können die Entfernungen des Auges von der Scale und anderen Punkten mit Bequemlichkeit abgemessen werden.

Die Richtung des Auges kann sehr gut gesichert werden, wenn man ihm einen bestimmten Gesichtspunkt anweist, und indem man die Lage dieses Punktes ändert, kann man auch Drehungen des Auges um genau mefsbare Winkel hervorbringen.

Will man nur den Krümmungsradius der Hornhaut für ihre Mitte kennen lernen, so läfst man das Auge O nach der Mittellinie des Ophthalmometers sehen, zu welchem Ende man in der vorderen Öffnung des Instruments ein Kreuz von zwei feinen weifsen Fäden anbringen kann. Bezeichnet man die Länge EF mit b, die Gröfse ihres Spiegelbildchens in der Hornhaut mit β, und die Länge CO mit a, so ist der Krümmungsradius r jetzt nahehin:

$$r = \frac{2a \cdot \beta}{b}, \qquad \qquad 2)$$

wenn man nämlich, sowohl r gegen a, als auch den Unterschied der Tangente und des Sinus des Winkels $\frac{1}{2}$ EOC vernachlässigt. Erlaubt man sich das letztere nicht, so ist die genauere Formel:

$$r = \frac{\beta}{2 \sin \left[\frac{1}{2} \operatorname{arc\,tang} \left(\frac{b}{2a} \right) \right]} \qquad \qquad 2a)$$

welcher letztere Werth von r bei den oben angegebenen Dimensionen des Apparats etwa um $\frac{1}{2}$ Proc. von dem der ersten Formel abweicht.

Die Richtigkeit jener ersten abgekürzten Formel leuchtet leicht ein aus den bekannten katoptrischen Gesetzen. Die Brennweite eines convexen Spiegels ist gleich dem halben Radius, also $\frac{1}{2}r$. Das Bild eines weit entfernten Gegenstandes liegt nicht merklich vom Hauptbrennpunkte des Spiegels entfernt, und die Gröfse des Objects und seines Bildes verhalten sich zu einander wie ihre Entfernungen von der Kugelfläche. Also

$$b : \beta = a : \tfrac{1}{2} r,$$

woraus sich unmittelbar der angegebene Wert von r ergiebt.

Kann man die Theile des Apparates ein für alle mal fest aufstellen, so ist die Messung der Hornhautkrümmungen verschiedener Augen aufserordentlich leicht und schnell zu vollziehen. Man braucht nur eine Beobachtung durch das Ophthalmometer; für den abgelesenen Winkel entnimmt man aus der Tabelle den Werth von β, und multiplicirt ihn mit dem constanten Factor

$$\frac{2a}{b} \text{ oder } \frac{1}{2 \sin \left[\frac{1}{2} \operatorname{arc\,tang} \left(\frac{b}{2a} \right) \right]}.$$

Noch bequemer wird es natürlich, wenn man sich gleich eine Tabelle berechnet für die den abgelesenen Winkelgraden entsprechenden Hornhautkrümmungen.

Umständlich ist die Bestimmung der Ellipticität der Hornhaut. Wenn ich, wie SENFF gethan hat, die äussere Hornhautfläche im Folgenden als ein Stück eines Ellipsoids betrachte, so möchte ich dies nur in dem Sinne thun, dafs jedes kürzere Stück einer continuirlichen Curve im Allgemeinen viel näher durch einen elliptischen als durch einen Kreisbogen ausgedrückt werden kann, und bei der Hornhaut der Ausdruck ihrer Form durch ein Ellipsoid vorläufig eine grofse Annäherung giebt. Auf einer Kugelfläche ist der Krümmungsradius überall constant, auf einem Ellipsoid veränderlich. So ist er denn auch am Rande der Hornhaut gröfser, als in ihrer Mitte. Kennt man die Werthe des Krümmungsradius an verschiedenen Stellen eines Ellipsoids, so kann man daraus dessen Axen und Excentricität berechnen. Die Messung des Krümmungsradius an verschiedenen Stellen der Hornhaut kann ganz so ausgeführt werden, wie ich eben beschrieben habe. Streng richtig ist die Methode allerdings nur für den Fall, dafs das gemessene Spiegelbildchen verschwindend klein gegen den Krümmungsradius ist, was bei den gegebenen Dimensionen des Apparats eigentlich nicht der Fall ist. Indessen da die Abweichung des kleinen Scheitelabschnitts eines Ellipsoids, den die Hornhaut bildet, von einer Kugel überhaupt gering ist, so ist die begangene Ungenauigkeit, wie ich mich überzeugt habe, von keinem in Betracht kommenden Einflusse.

Die Form der Hornhaut entspricht nahehin einem Ellipsoid, welches durch Umdrehung einer Ellipse um ihre gröfsere Axe erzeugt ist. Der Scheitel des Ellipsoids entspricht, wie sich im folgenden zeigen wird, ungefähr der Mitte der Hornhaut, weicht aber merklich von der Gesichtslinie ab, welche bei allen von mir untersuchten Individuen vom Scheitel aus nach der Nasenseite hin lag.

Die Beobachtungen werden hierfür ganz so angestellt, wie ich es für die Bestimmung des Krümmungsradius der Hornhaut in der Gesichtslinie beschrieben habe, nur weist man dem beobachteten Auge nach einander verschiedene Fixationspunkte an, und wiederholt für alle diese die Messung. Der erste Fixationspunkt möge wieder in der Axe des Fernrohrs liegen; der zugehörige berechnete Werth des Krümmungsradius der Hornhaut sei ϱ_0. Die beiden andern wähle man auf der Scale gleich weit nach rechts und nach links von dem Punkte C, in gleicher Höhe mit dem Lichtzeichen, etwa bei A und B. Für die Richtung der Gesichtslinie nach A sei gefunden der Werth des Krümmungsradius ϱ_1, für B der Werth ϱ_2. Nun folgt aus den geometrischen Eigenschaften der Ellipse, dafs der Krümmungsradius ϱ eines beliebigen Punktes durch folgende Gleichung gegeben ist, worin ω den Winkel zwischen dem Krümmungsradius und der grofsen Axe, a die halbe grofse Axe, ε die Excentricität (d. h. Abstand der Brennpunkte, dividirt durch die grofse Axe) bezeichnet.

$$\varrho = \frac{a\,(1-\varepsilon^2)}{\sqrt{1-\varepsilon^2 . \sin^2\omega}^{\,3}} \quad \ldots \quad 3)$$

Bei unseren Versuchen mufs der Krümmungsradius der spiegelnden Stelle der Hornhaut immer der Axe des Fernrohrs parallel sein, weil die Mitte C des gespiegelten Objects EF in der Fernrohraxe liegt, und daher die spiegelnde Stelle senkrecht gegen die Fernrohraxe stehen mufs. Der Winkel ω zwischen dem Krümmungsradius und der Axe des Ellipsoids ist also derselbe, wie der zwischen der Axe des Fernrohrs und der Axe des Ellipsoids. Bei der ersten Beobachtung, wo die Gesichtslinie des beobachteten Auges in die Axe des Fernrohrs fällt, ist der Winkel ω gleich dem noch unbekannten Winkel zwischen der Gesichtslinie und der Axe des Ellipsoids, den wir α nennen und positiv rechnen wollen, wenn die Axe des Ellipsoids auf derselben Seite der Linie CO liegt, wie der Punkt A, negativ, wenn sie auf der Seite von B liegt. Bei der zweiten Beobachtung ist die Gesichtslinie nach A gerichtet; und setzen wir

$$\angle EOC = \angle FOC = \varphi,$$

so wird ω jetzt gleich $(\alpha + \varphi)$. Wenn bei der dritten Beobachtung die Gesichtslinie nach

B gekehrt ist, wird ω gleich $(\alpha - \varphi)$. Setzen wir also die drei Paare zusammengehöriger Werte von ϱ und ω in die Gleichung 3, so erhalten wir folgende drei Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} \varrho_0 &= \frac{a\,(1 - \varepsilon^2)}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \,.\, \sin^2 \alpha}^{\,3}} \\ \varrho_1 &= \frac{a\,(1 - \varepsilon^2)}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \,.\, \sin^2 (\alpha + \varphi)}^{\,3}} \\ \varrho_2 &= \frac{a\,(1 - \varepsilon^2)}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \,.\, \sin^2 (\alpha - \varphi)}^{\,3}} \end{aligned}\right\} \quad 3\text{a})$$

Aus diesen drei Gleichungen läfst sich zunächst a eliminiren. Wenn man sie gleichzeitig auf die zweite Potenz erhebt, und die dritte Wurzel auszieht, bekommt man folgende zwei andere Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} \varrho_0^{\frac{2}{3}} - \varrho_1^{\frac{2}{3}} &= \varepsilon^2 \left[\varrho_0^{\frac{2}{3}} \,.\, \sin^2 \alpha - \varrho_1^{\frac{2}{3}} \,.\, \sin^2 (\alpha + \varphi)\right] \\ \varrho_0^{\frac{2}{3}} - \varrho_2^{\frac{2}{3}} &= \varepsilon^2 \left[\varrho_0^{\frac{2}{3}} \,.\, \sin^2 \alpha - \varrho_2^{\frac{2}{3}} \,.\, \sin^2 (\alpha - \varphi)\right] \end{aligned}\right\} \quad 3\text{b})$$

Aus diesen endlich bekommt man nach Elimination von ε^2 die Gleichung

$$tang\,(2\alpha) = tang\,\varphi \,.\, \frac{(\varrho_0 \cdot \varrho_2)^{\frac{2}{3}} - (\varrho_0 \cdot \varrho_1)^{\frac{2}{3}}}{(\varrho_0 \cdot \varrho_1)^{\frac{2}{3}} + (\varrho_0 \cdot \varrho_2)^{\frac{2}{3}} - 2(\varrho_1 \cdot \varrho_2)^{\frac{2}{3}}} \quad 3\text{c})$$

Aus dieser letzten ist α zu finden, und wenn man α hat, aus einer der Gleichungen 3b) die Excentricität ε und aus 3a) die halbe Axe a. Die halbe kleine Axe der Ellipse b ist gegeben durch die Gleichung

$$b = a \,.\, \sqrt{1 - \varepsilon^2},$$

und der Krümmungsradius im Scheitel der Ellipse

$$\varrho = a\,(1 - \varepsilon^2) = \frac{b^2}{a}.$$

Es ist bei dieser Berechnungsmethode wieder die Gröfse der gespiegelten Bildchen gegen die Axen der Ellipsen vernachläfsigt worden; denn nur wenn man das thut, kann man unmittelbar aus der Gröfse der Bildchen den Krümmungsradius berechnen. Will man die Gröfse der Bildchen nicht vernachlässigen, so wird die Rechnung aufserordentlich weitläufig, während ihre Ergebnisse sich nur ganz unerheblich von denen der hier angegebenen Formeln unterscheiden. Die Resultate meiner Messungen, welche ich weiter unten zusammengestellt habe, sind auf diesem genaueren Wege gewonnen. Übrigens ist es immer nothwendig, die Rechnung zuerst nach den einfachen Formeln zu führen, die ich oben aufgestellt habe, um genäherte Werthe der gesuchten Gröfsen zu erhalten, da sich die genaueren Formeln nicht arithmetisch nach den Unbekannten auflösen lassen, und daher deren Werthe nur durch approximative Rechnungen zu finden sind.

In dieser Weise habe ich für den horizontalen Durchschnitt der Hornhaut folgende Werthe für die drei untersuchten Augen gefunden. Es ist a die halbe grofse, b die halbe kleine Axe der Ellipse, ϱ der Krümmungshalbmesser im Scheitel, ε die Excentricität, α der Winkel, den die Gesichtslinie nach der Nasenseite zu mit der grofsen Axe der Ellipse bildet. Die Längenmaafse sind Millimeter.

	ϱ	ε^2	a	b	α
O. H.	7,338	0,4367	13,027	9,777	4° 19′
B. P.	7,646	0,2430	10,100	8,788	6° 43′
J. H.	8,154	0,3037	11,711	9,772	7° 35′

Es bleibt noch übrig, die Lage des Randes der Hornhaut gegen den Scheitel der Ellipse und die Gesichtslinie zu bestimmen. Ich brauchte dazu das Ophthalmometer mit dem Concavglase an seinem vorderen Ende, brachte dicht unter diesem Glase ein kleines Licht reflectirendes Spiegelchen an, dessen Spiegelbild als ein helles Pünktchen auf der Hornhaut erschien. Da das Licht hier in derselben Richtung in das Auge fiel, als das Fernrohr hineinsah, mufste das Spiegelbild auf derjenigen Stelle der Hornhaut erscheinen, welche senkrecht gegen die Fernrohraxe war. Nun wurden die ebenen Glasplatten des Ophthalmometers gedreht, so dafs sich die Bilder der Hornhaut und des hellen Pünktchens darauf verdoppelten. Zugleich verschob ich den Körper, auf dem das beobachtete Auge seinen Gesichtspunkt hatte, so, dafs es möglich wurde jedes der beiden Bilder des hellen Pünktchens mit einem Bilde eines der entgegengesetzten Ränder der Hornhaut zusammenfallen zu lassen. Die Einstellung war gut auszuführen, da das Spiegelbildchen nahehin in der Ebene der Hornhautbasis liegt, und deshalb mit dieser zugleich deutlich im Fernrohre erscheint. Es wurde endlich durch passende Abmessungen der Winkel β bestimmt, den die optische Axe des Fernrohrs mit der Gesichtslinie des beobachteten Auges bei der gedachten Einstellung gemacht hatte, und dieser fand sich nahe gleich dem Winkel α zwischen der Gesichtslinie und der grofsen Axe der Ellipse. Zur Vergleichung setze ich beide Winkel für die drei gemessenen Augen neben einander.

	β	α	Differenz
O. H.	4° 51′	4° 19′	+ 32′
B. P.	6° 21′	6° 43′	— 22′
J. H.	7° 9′	7° 35′	— 26′

Die spiegelnde Stelle der Hornhaut war also nahehin der Scheitel der Ellipse, das Spiegelbild lag in der grofsen Axe, und da sich durch dieselbe Drehung der Glasplatten gleichzeitig beide Hornhautränder mit dem Spiegelbildchen zum Decken bringen liefsen, so müssen beide gleich entfernt von der Axe sein, folglich mufs die Basis der Hornhaut eine nahehin auf der grofsen Axe der Ellipse senkrechte Ebene sein, und der Mittelpunkt der Hornhaut mit dem Scheitel der Ellipse zusammenfallen. Die kleinen Differenzen zwischen den Winkeln α und β können dabei vernachlässigt werden, da auch die gröfste Winkelabweichung 32′, längs der Fläche der Hornhaut gemessen, nur 0,07 mm beträgt.

Aus dem Winkel, um den wir bei dem angegebenen Versuche die Glasplatten abgelenkt haben, können wir auch sogleich noch den horizontalen Durchmesser der Hornhautbasis berechnen, und aus diesem und den Axen der Ellipsen den Abstand ihres Scheitels von der Basis. Diese Gröfsen finden sich, wie folgt, in Millimetern.

Auge.	Durchmesser der Basis.	Abstand des Scheitels von der Basis.
O. H.	11,640	2,560
B. P.	11,640	2,531
J. H.	12,092	2,511

Seit der ersten Veröffentlichung dieser Untersuchungsmethoden[1]) sind eine grofse Zahl von Messungen der Krümmung und Dimensionen der Hornhaut gemacht worden. Es wird genügen, mit Verweisung auf die am Schlusse des Werks folgenden Litteraturübersichten, hier die von DONDERS[2]) gegebene Zusammenstellung ihrer Ergebnisse anzu-

[1] H. HELMHOLTZ, *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie.* I. (2) S. 1. 1854.

[2] F. C. DONDERS, *On the anomalies of accomodation and refraction.* London. 1864. p. 89. — *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie.* VIII. (1) S. 1862.

führen. Die Mittelwerthe des Krümmungsradius der Hornhaut in der Gesichtslinie waren in Millimetern

A. Männer.

1) 20 unter 20 Jahren		7,932
2) 51 unter 40 „		7,882
3) 28 über 40 „		7,819
4) 11 über 60 „		7,809
	Mittel	7,858
	Maximum	8,396
	Minimum	7,28

B. Weiber.

1) 6 unter 20 Jahren		7,720
2) 22 unter 40 „		7,799
3) 16 über 40 „		7,799
4) 2 über 60 „		7,607
	Mittel	7,799
	Maximum	8,487
	Minimum	7,115

C. Nach der Sehweite geordnet.

1) 27 Normalsichtige	7,785
2) 25 Kurzsichtige	7,874
3) 26 Hypermetropen	7,96

Die ellipsoidische Gestalt der Hornhaut ist nicht immer regelmäfsig eingehalten; in der That habe ich die Annahme von Senff, dafs die Hornhaut ein Ellipsoid sei, zunächst nur in dem Sinne festhalten wollen, dafs ein kleines Stück einer jeden gekrümmten Fläche durch ein Ellipsoid sich genauer wird darstellen lassen, als durch eine Kugel. Die Herren Aubert und Matthiessen[1] sind zu dem Resultat gekommen, dafs ein mittlerer Theil der Hornhaut sich einer Kugel mehr nähert, als es der Scheitel eines Ellipsoids thun sollte, und dafs erst in etwa 16° Entfernung von der Mitte die Wölbung geringer wird.

Eine ganz abweichende Form des Ophthalmometers hat Herr Coccius[2] construirt, in welchem die Doppelbilder durch einen doppeltbrechenden Kalkspath mit parallelen Grenzflächen hervorgebracht werden. Solche haben auch constante lineare Entfernung von einander, die man aber nicht variiren kann. Man verändert deshalb den Abstand der Lichter, welche von der Hornhaut gespiegelt werden, bis die Doppelbilder die gewünschte Stellung zu einander haben.

Um in verticalen oder in schräg gerichteten Meridianen der Hornhaut die Krümmung messen zu können, hat Herr Donders einen verticalen Holzring mit beweglichen Lichtchen construiren lassen. Bequemer noch ist es, an einer um eine horizontale Axe drehbaren und in Centimeter getheilten Stange *Fig.* 7 drei Spiegelchen *a, b, c* anzubringen, die in verschiedenen Entfernungen (*Fig.* 8) vermittels der Hülse *a* und der Schraube *b* angeklemmt, und mit Hülfe einer andern Schraube *g* in beliebiger Neigung festgestellt werden können. Die Drehungsaxe bildet einen hohlen Cylinder *d* in *Fig.* 7, durch welchen das Ophthalmometer nach dem zu messenden Auge hin gerichtet wird. Die Lampe kommt nahe zur Seite des beobachteten Auges zu stehen, und die Drehungsaxe der Scala wird so gerichtet, dafs sie einen mitten zwischen beobachtetem Auge und Lampe gelegenen Punkt schneidet. Die Spiegelchen müssen so gerichtet werden, als wären sie Stücke von einer Kugelfläche, die ihr Centrum in dem letztgenannten Punkte hat. Sie reflectiren dann das Licht der Flamme in das beobachtete Auge, und da alle Punkte einer spiegelnden Kugelschale innerhalb ziemlich grofser Winkelentfernung von der

[1] H. Aubert, *Pflüger's Archiv.* Bd. 35. S. 597. 1885.

[2] A. Coccius, *Über den Mechanismus der Accommodation des menschl. Auges.* Leipzig 1867. *Ophthalmometrie und Spannungsmessung am kranken Auge.* Leipzig 1872.

Axe dasselbe thun würden, so verliert sich der Reflex auch nicht, wenn man den Hebel dreht. Wenn die Öffnung für das beobachtete Auge und der Ort der Lichtflamme ein für alle Mal fixirt, und der Beleuchtungsapparat fest aufgestellt wird, kann man die Spiegelchen dadurch in ihre richtige Lage bringen, daſs man versucht, ob sie bei allen Drehungen der Stange das Licht gleichmäſsig reflectiren, und ihre Stellung dem entsprechend corrigirt.

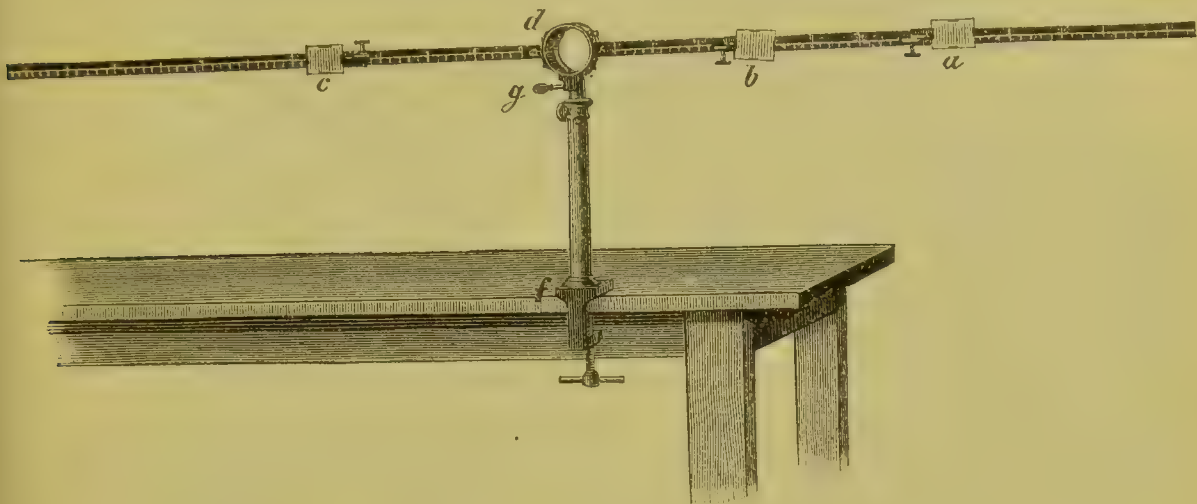


Fig. 7.

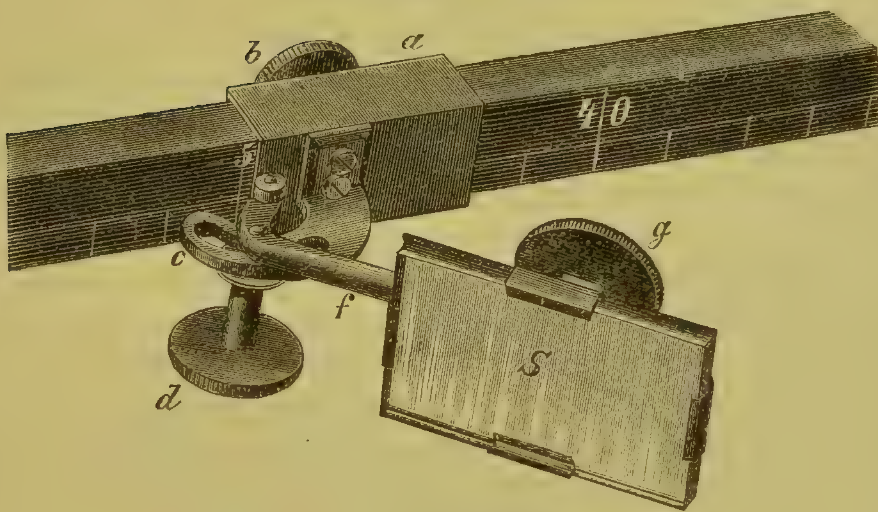


Fig. 8.

Dieser Apparat ist von Herrn Mandelstamm[1] auch benutzt worden, um die Abweichung der Gesichtslinie von der Hornhautaxe in verschiedenen Meridianen zu studiren. Es ist verhältniſsmäſsig leichter diese Messungen so auszuführen, daſs man auf beiden Seiten der Meſsstange Orte für den Fixationspunkt des beobachteten Auges sucht, welche einer gleichbleibenden Einstellung des Ophthalmometers entsprechen.

Die Gesichtslinie ist der Regel nach etwas abwärts gegen die Axe der Hornhaut gerichtet, (bis 3° 5′), ausnahmsweise aufwärts (0° 56′).

[1] E. Mandelstamm, *Gräfe's Archiv für Ophthalm.* XI. (2) S. 259—265. 1865.

Der Scheitel des Ellipsoids zeigt oft gröfsere Abweichungen von der Mitte der Hornhaut, als sie in den von mir beobachteten Augen vorhanden waren. Herr Dr. UHTHOFF fand für vier Augen:

	Dr. A.	Dr. K.	Dr. R.	Dr. F.
Winkel β bestimmt				
a) mit Ophthalmometer	$6^0\,22'$	$3^0\,54'$	$2^0\,10'$	$6^0\,35'$
b) nach SCHOELER	$6^0\;\;6$	$4^0\,25'$	$2^0\;\;9'$	$6^0\,35'$
Winkel α				
a) mein erstes Verfahren	$4^0\,11'$	$1^0\,17'$	$0^0\;\;0'$	$8^0,45'$
b) Änderung MANDELSTAMM	$4^0\;\;8'$	$1^0\,29'$	$0^0\;\;0'$	$8^0\,11$

Das erwähnte Verfahren von Herrn SCHOELER[2] beruht darauf, dafs man eine dicke planparallele Glasplatte senkrecht gegen die Visirlinie stellen kann, wenn man das Bild eines feinen Glasfadens, durch die Platte gesehen, zur genauen Fortsetzung des neben der Platte erscheinenden Theils des Fadens macht. So kann die Platte nach einander auf zwei verschiedene Gesichtszeichen eingestellt und ihr Drehungswinkel mit Scala und Fernrohr bestimmt werden. Das erste Gesichtszeichen wird so eingestellt, dafs der Beobachter am zweiten vorbeivisirend dies zum Decken bringt mit dem Hornhautreflex eines Lichtes, welches in derselben Richtung einfällt, wie der Blick des Beobachters. Dafs der Reflex in der Mitte der Hornhaut steht, wird mit drei auf eine Glastafel geritzten convergirenden Linien controllirt, die mit einem durch eine Convexlinse erzeugten Luftbild der Hornhaut zusammenfallen. Zuerst steht die Platte senkrecht zu dem auf das erste Gesichtszeichen gerichteten Blick des Beobachters, dann stellt der Beobachtete die Platte so ein, dafs sie senkrecht gegen seine auf das zweite Zeichen gerichtete Gesichtslinie ist.

Der Winkel zwischen Visirlinie und Mitte der Hornhaut, der hier β genannt ist, ist praktisch wichtig wegen der Beurtheilung des Schielens.

§ 3. Die Uvea.

12 Das System der Uvea trägt seinen Namen von dem Vergleiche mit einer dunklen Weinbeere, die man von ihrem Stiele getrennt hat. Die Stielöffnung entspricht der Pupille. Sämmtliche Theile dieses Systems zeichnen sich dadurch aus, dafs sie von der Netzhaut getrennt auf ihrer inneren Fläche mit einer Lage von Pigmentzellen bedeckt zurückbleiben, theilweise auch solche in ihrer Substanz vertheilt zeigen, denen sie ihre dunkle Farbe verdanken. Die Uvea ist an zwei Stellen fest mit der Sehnenhaut verbunden, nämlich hinten an der Eintrittsstelle des Sehnerven *Fig. 1. d* (S. 5) und vorn an der inneren Wand des SCHLEMM'schen Kanals *a*. Den Theil *a b b a*, welcher nach vorn und innen von dieser letzteren Befestigung und zunächst hinter der Hornhaut liegt, nennt man *Iris* (Blendung); den hinteren Theil, welcher die innere Fläche der Sehnenhaut bekleidet, Aderhaut *(Chorioidea)*.

Im hinteren Theile des Augapfels bildet die Aderhaut eine dünne dunkle Membran, gröfstentheils aus Blutgefäfsen zusammengesetzt, die durch ein eigenthümliches Gewebe verbunden sind. Dieses Gewebe, welches KÖLLIKER als unentwickeltes elastisches Gewebe bezeichnet, besteht aus in einander geflochtenen strahligen, zum Theil mit Pigment gefüllten Zellen, deren Ausläufer äufserst fein verästelt sind. Dies eigenthümliche Stroma verbindet zunächst die Arterien und Venen der Aderhaut; die Schicht der Capillargefäfse *(membrana chorio-capillaris)* liegt ihm nach innen lockerer auf, und

[2] H. SCHOELER, *Gräfe's Archiv für Ophthalm.* XXX. (3) S. 311—312. 1884. — W. UHTHOFF, *Bericht der Ophthalm. Ges. zu Heidelberg.* 1884.

diese haftet nach innen fest an der Pigmentzellenschicht, welche den hinteren Abschlufs der Netzhaut bildet, früher aber der Aderhaut selbst zugerechnet wurde, da sie bei Abtrennung der Retina durchreifst, so dass ihr äufserer dunkel gefärbter Theil, wie bemerkt, an der Uvea haften bleibt. Nach vorn hin aber, wo die Netzhaut aufhört, setzt sich die Pigmentmembran, der Uvea anhaftend, über deren Ciliartheil und die hintere Fläche der Iris fort.

Vorn legt sich an die äufsere Fläche der Aderhaut ein Muskel, der 12
Ciliarmuskel *Tensor Chorioideae, Musculus Brückianus*); von ihrer inneren Fläche dagegen erheben sich faltenförmige, durch ein Convolut von Gefäfsstämmen ausgefüllte Hervorragungen, die Ciliarfortsätze *(Processus ciliares)*. In *Fig. 1.* (S. 5) ist angenommen, dafs der dargestellte Durchschnitt auf der linken Seite durch einen Ciliarfortsatz *c* hindurchgeht, auf der rechten Seite dagegen zwischen zwei solchen Fortsätzen, daher hier allein der Ciliarmuskel *h* in 13
dem Schnitte sichtbar ist. Die Fasern des Ciliarmuskels entspringen von der inneren Wand des Schlemmschen Kanals, da wo sich deren elastischer und sehniger Theil mit einander verbinden, bei *a Fig. 1* und *a Fig. 2* (S. 7) laufen dann an der äufseren Seite der Aderhaut nach hinten, und heften sich an diese Membran. Die Fasern dieses Muskels gehören zu den sogenannten organischen, wie wir sie in den meisten nicht willkürlich bewegten Muskeln antreffen; sie sind mit längsovalen Kernen versehen und nicht quergestreift. Brücke, der den Muskel entdeckte, nahm an, dafs er die Aderhaut (und die mit dieser bei *g Fig. 1* engverbundene Netzhaut und Glashaut) um den Glaskörper anspanne, Donders dagegen, dafs die Aderhaut sein fester Ansatzpunkt sei, und er im Gegentheil den elastischen Theil der inneren Wand des Schlemmschen Kanals verlängere und so den Ansatz der Iris nach hinten rücke. In Wahrheit verbinden sich beide Wirkungen mit einander.

Die Ciliarfortsätze sind häutige Falten der Aderhaut, welche in Richtung der Meridianlinien des Auges verlaufen, 70 bis 72 an der Zahl. Sie erheben sich in der Gegend des vorderen Endes der Netzhaut (*Fig. 1. g*), verlaufen allmälig ansteigend nach vorn, wo sie in der Gegend des äufseren Linsenrandes ihre gröfste Höhe erreichen, und senken sich dann schnell, indem die vorderen Ausläufer der meisten noch auf die Hinterseite der Iris übergehn. Ihre hervorstehenden scharfen Ränder sind oft von Pigment entblöfst, und zeichnen sich als weifse Linien ab, wenn man die Ciliargegend durch den Glaskörper von hinten betrachtet, wie dies der in *Fig. 9* dargestellte Aequatorialschnitt des Bulbus zeigt. *Pc* sind die Ciliarfortsätze; von ihnen umgeben liegt die Linse, durch welche man die vor ihr liegende Iris erblickt. *Os* ist der Randtheil der Netzhaut. Die Ciliarfortsätze enthalten eine grofse Menge von Gefäfsstämmen, durch ein ähnliches Stroma verbunden, wie es in der Aderhaut vorkommt.

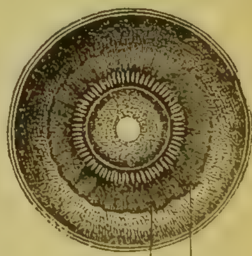


Fig. 9.

Die Iris, *ab* in *Fig. 1*, *J* in *Fig. 2*, der vorderste Theil der Uvea, bildet für das Auge eine bewegliche Blendung. Sie entspringt mit dem Ciliarmuskel

gemeinschaftlich an der inneren Wand des SCHLEMM'schen Kanals und zwar an der Grenze des hinteren sehnigen Theils dieser Wand, ist aber durch ein Netzwerk elastischer Fasern, welche frei durch die wässrige Feuchtigkeit verlaufen, mit dem elastischen Theile dieser inneren Wand verbunden. Man nennt diese elastischen Fasern das *Ligamentum Iridis pectinatum*, *b Fig. 2.* Von da an verläuft die Iris, sich an die vordere Fläche der Linse legend, nach innen bis zu ihrem inneren oder Pupillarrande, und ist dabei leicht nach vorn gewölbt. Sie enthält organische Muskelfasern, welche zu zwei Muskeln zusammengefafst werden können.

1) Der Ringmuskel der Pupille (*Musculus Contractor sive Sphincter Pupillae*), umgiebt in Form eines Ringes von 2 mm Breite den Pupillarrand; er liegt vor der Pigmentschicht und hinter der Hauptmasse der zum Pupillarrande verlaufenden Gefäfse und Nerven. Seine Fasern verlaufen in concentrischen Ringen, und verengern deshalb bei ihrer Zusammenziehung die Pupille.

2) Der Erweiterer der Pupille (*Musculus Dilatator Pupillae*). Seine Fasern entspringen von der inneren Wand des SCHLEMM'schen Kanals und wohl auch von den Fasern des *Ligamentum pectinatum*, und verlaufen an der hinteren
14 Seite der Iris netzförmig mit einander verbunden nach innen, wo sie sich in den Ringmuskel verlieren; doch ist die musculöse Natur der Fasern noch zweifelhaft.

Das Stroma der Iris ist Bindegewebe; hinten ist sie von der Pigmentzellenschicht, vorn von einem Epithelium bedeckt. Auch ihr Stroma enthält oft Pigmentzellen; dann ist ihre Farbe braun, sonst erscheint sie als ein trübes Medium vor dem dunklen Pigmente blau.

Das Verhalten der Gefäfse der Uvea bietet vieles Eigenthümliche. Ich habe schon angeführt, dafs die Gefäfse den gröfsten Theil der Masse dieses Systems ausmachen. Ihre zuführenden Arterien (*Arteriae ciliares posticae breves* für die Aderhaut und Ciliarfortsätze, *posticae longae* und *anticae* für die Iris) treten durch die Sclerotica ein, und communiciren mit den Venen nicht blofs, wie es in anderen Theilen des Körpers der Fall ist, durch ein feines Capillargefäfsnetz, sondern auch durch ziemlich weite Verbindungsröhren, welche auf der Aderhaut in zierlich geordneten Bögen wedelförmig aus den Arterien entstehen, und sich wieder zu Venen (*Venae vorticosae*) sammeln. Die *Arteriae ciliares posticae breves*, etwa 20 Ästchen, durchbohren die Sclerotica an ihrem hinteren Theile, laufen, sich fortdauernd gabelförmig spaltend, nach vorn und geben ihr Blut theils durch das Capillargefäfsnetz, welches, soweit die Netzhaut reicht, an der inneren Seite der Aderhaut unter den Pigmentzellen liegt, theils durch die weiten Verbindungsäste der Vortices an die Venen ab, welche theils (*Vasa vorticosa*) am Äquator des Augapfels, theils (*Venae ciliares posticae*) am hinteren Theile durch die Sclerotica austreten. Ein grofser Theil der Äste dieser Arterien läuft aber nach vorn in die Ciliarfortsätze und bildet in diesen ein Gefäfsknäuel, dessen rückkehrende Äste in die vorderen Bögen der Vortices übergehen. Durch diese Einrichtung wird wohl eine schnellere Aenderung der Blutvertheilung im Auge möglich, wie sie bei den durch die Accommodation schnell veränderten Druckverhältnisse gefordert wird. Das Gefäfsnetz der Iris hängt mit dem der Ciliarfortsätze zusammen, zum gröfsten Theile empfängt es aber sein Blut aus besonderen Stämmen, die theils hinten durch die Sclerotica treten (*Art. ciliares posticae longae*) und zwischen Aderhaut und Sehnenhaut nach vorn bis zum

Ciliarmuskel verlaufen, theils auch vorn eintreten (*Art. ciliares anticae*). Sie bilden in der Iris zwei anastomosirende Gefäſskränze, den einen (*Circulus arteriosus Iridis major*) am peripherischen Rande, den anderen (*Circ. arter. minor*) nahe dem Pupillarrande. An der Stelle des letzteren ist die Iris am dicksten, und bildet auf ihrer vorderen Fläche einen Vorsprung.

Am unverletzten Auge sieht man die Iris durch die Hornhaut. Durch die Wirkung der Strahlenbrechung erscheint sie der Hornhaut näher, also mehr nach vorn gewölbt, als sie es in Wirklichkeit ist. Wenn man dagegen das Auge einer Leiche unter Wasser bringt, dessen Brechungsvermögen dem der wässrigen Feuchtigkeit ziemlich gleich ist: so fällt die Strahlenbrechung an der Hornhaut weg und man sieht die Iris in ihrer natürlichen Lage, wo sie schwach oder nur wenig gewölbt erscheint. Um am lebenden Auge eine richtige Anschauung von der Iris zu erhalten, hat J. Czermak[1]) ein Instrument angegeben unter dem Namen Orthoskop, welches im wesentlichen eine kleine Wanne mit Glaswänden ist, die an das Gesicht so angesetzt wird, daſs das Auge die Hinterwand derselben bildet, und dann voll Wasser gegossen wird. Das in *Fig. 10* abgebildete Instrument hat eine untere Wand *f c b* und eine innere (der Nase zugekehrte) *g a b* aus Metallblech gebildet. Beide sind am freien Rande passend ausgeschnitten, um sie an das Gesicht ansetzen zu können. Die vordere Wand *a b c d* und die äuſsere *c d e f* sind aus ebenen Glasplatten gebildet. Um den Rand des Instruments wasserdicht an das Gesicht ansetzen zu können, empfiehlt Czermak geknetete Brodkrume an das Gesicht anzulegen und den Rand des Instruments hineinzudrücken. Das Auge wird nun zunächst geschlossen, Wasser von 23 bis 26° R. in das Kästchen gegossen, und dann das Auge geöffnet. Die Hornhaut tritt von der Seite gesehen als eine durchsichtige, gewölbte Blase hervor, die Iris tritt als ein fast ebener Vorhang von ihr zurück.

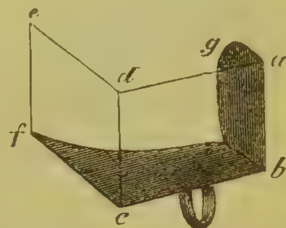


Fig. 10.

Es könnten bei dieser Methode Zweifel übrig bleiben, ob das Bild der Iris durch die Brechung zwischen Hornhaut und Wasser einerseits, Hornhaut und wässriger Feuchtigkeit anderseits nicht noch ein wenig verändert sei, und da die Frage nach der Form und Lage der Iris für die Lehre von der Accommodation des Auges von groſser Wichtigkeit ist, so will ich hier noch andere Untersuchungsmethoden beschreiben. Eine leicht auszuführende Art, um an lebenden Augen das Relief der Iris kennen zu lernen, ist die folgende. Man stelle seitlich und etwas nach vorn von dem beobachteten Auge ein Licht auf, und concentrire durch eine Sammellinse von etwa 2 Zoll Brennweite und möglichst groſser Öffnung dessen Strahlen auf einen Punkt der Hornhaut, so daſs auf dieser ein Bild des Lichts entworfen wird. Die Hornhaut sieht an der starkbeleuchteten Stelle trübe aus. Der Brennpunkt auf der Hornhaut bildet nun gleichsam eine neue Lichtquelle, deren Strahlen, ohne weiter gebrochen zu werden, geradlinig auf die Iris fallen, und, wenn sie schief auffallen, Schlagschatten verschiedener Länge auf ihr entwerfen, aus denen man leicht beurtheilen kann, wie viel ihre einzelnen Theile hervorspringen oder zurückweichen. Bei der angegebenen Untersuchungsmethode findet man die Iris kurzsichtiger Augen oft so platt, daſs gar kein Schlagschatten auf ihr entsteht. Bei normalen Augen dagegen sieht man nahe um die Pupille herum den dem *Circulus arteriosus minor* entsprechenden Wulst, der deutliche Schlagschatten wirft. Wenn der lichtgebende Brennpunkt etwa 1 mm vom Rande der Hornhaut absteht, verlängert sich dieser Schlagschatten meist bis zum peripherischen Rande der Iris.

Um sich an lebenden Augen von dem sehr wichtigen Umstande zu überzeugen, daſs die Iris der Linse dicht anliegt, kann man dasselbe Verfahren gebrauchen, mit dem Unterschiede, daſs man den Brennpunkt der Sammellinse ein wenig von der Seite her

[1] J. Czermak, *Prager Vierteljahrsschrift für prakt. Heilkunde*. Bd. XXXII. S. 154. 1851.

auf die vordere Linsenfläche fallen läfst. Bei so starker Beleuchtung erscheint dann die Substanz der Linse weifslich trübe, und man sieht, dafs von der Iris kein Schlagschatten geworfen wird. Noch besser geschieht dies mittels der Reflexe, welche die vordere Fläche der Linse von einfallendem Lichte giebt. Wenn in *Fig. 11* C_1 C_2 ein convexer Kugelspiegel ist, DE ein davorstehender dunkler Schirm mit einer Öffnung FG, das Auge des Beobachters sich in A befindet und ein Licht in B, und der am Rande der Öffnung bei F vorbeigehende Lichtstrahl BF in H nach HA zurückgeworfen wird, so wird das Auge von den zwischen H und C_1 gelegenen Punkten der Spiegelfläche kein zurückgeworfenes Licht erhalten können, diese werden vielmehr die dunkle Hinterseite des Schirms spiegeln müssen. So z. B. würde in der Richtung AJ Licht gespiegelt werden können, welches von dem Punkte K des Schirms ausgegangen ist. Zwischen F und H wird also das Auge einen dunklen Theil der Spiegeloberfläche so oft erblicken müssen, als nicht der Rand des Schirms der spiegelnden Fläche ganz dicht anliegt. Man kann sich von der Richtigkeit des Gesagten an jeder spiegelnden convexen Fläche, z. B. eines gewölbten metallenen Knopfes, überzeugen, für welche man sich ein passendes dunkles Diaphragma mit runder Öffnung gemacht hat. Nur wenn der Rand der Öffnung dicht an der Fläche liegt, reichen die Spiegelbilder, welche sie von äufseren Gegenständen entwirft, bis an den Rand des Diaphragma. Ist dagegen zwischen letzterem und der spiegelnden Fläche ein kleiner Zwischenraum, so sieht man an dem dem Auge gegenüberliegenden
16 Rande der Öffnung eine dunkle Linie sich zwischen die Spiegelbilder und den Rand der Öffnung einschieben.

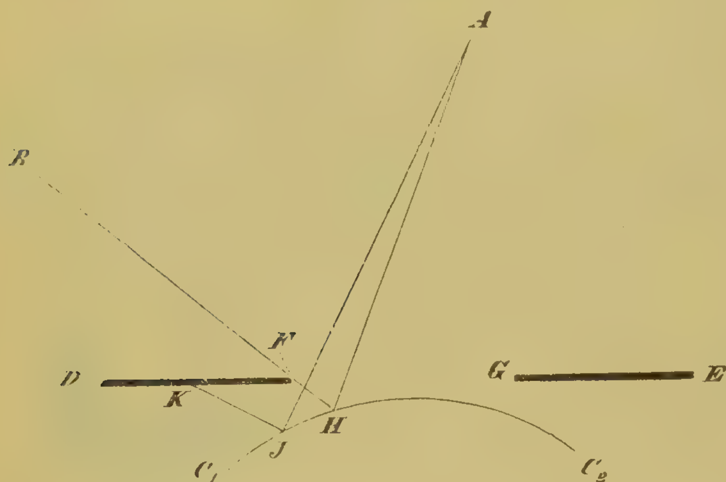


Fig. 11.

Die Flächen der Linse reflectiren ebenfalls Licht, aber sehr wenig. Man sieht diese Reflexe[1], wenn sich das Auge in einem dunklen Zimmer befindet, in welchem nur ein Licht enthalten ist. Man stellt das Licht vor dem Auge, etwas seitlich von der nach vorn verlängerten Augenaxe, auf. Der Beobachter sieht von der andern Seite her in das Auge, so dafs seine Gesichtslinie etwa denselben Winkel mit der Augenaxe macht, wie das einfallende Licht. Neben dem bekannten hellen Reflexe der Hornhaut sieht er dann zwei andere sehr viel schwächere. Der gröfsere von beiden bildet ein aufrechtes, ziemlich verwaschenes Bild der Flamme und rührt von der vorderen Linsenfläche her, der kleinere bildet ein schärferes umgekehrtes Bildchen und wird von der hinteren Linsenfläche entworfen. Von den Augenärzten werden diese Reflexe die Sansonschen Bildchen genannt. Wenn man die Stellung des Lichts oder des eigenen Auges verändert, während man sie beobachtet, verändert sich auch die Stellung der Bildchen, und so gelingt es leicht, das erstgenannte derselben, das der vorderen Linsenfläche, bis an jede beliebige Stelle des Randes der Pupille zu führen. Man sieht es dann stets, auch an dem dem Beobachter gegenüberliegenden Rande der Pupille, bis dicht an die Iris rücken, ohne zwischenliegende schwarze Linie. Wenigstens ist dies unter normalen Umständen ohne

---

[1] Entdeckt von Purkinje. S. dessen Abhandlung: *De examine physiologico organi visus et syst. cutanei.* Vratisl. 1823. Zur Diagnose von Krankheiten benutzt von Sanson (*Leçons sur des maladies des yeux.* Paris 1837). Ihr Ursprung ist genauer bestimmt durch H. Meyer, *Henle's* und *Pfeufer's Zeitschrift für rationelle Medicin.* 1846. Bd. V.

künstliche Erweiterung der Pupille, so viel ich gefunden habe, stets der Fall, und daraus folgt mit Bestimmtheit, dafs der Pupillarrand der Iris der Linse anliege.

Die Entfernung der Pupillenfläche von dem Scheitel der Hornhaut ist von C. Krause an durchschnittenen Augen gemessen worden. Indessen ist die Verbindung der Linse mit der Sclerotica durch die Ciliarfortsätze keine so straffe, dafs nicht nach der Durchschneidung beträchtliche Verschiebungen eintreten sollten.

Davon, dafs die Pupillarfläche hinter einer durch den äufseren Rand der Hornhaut gelegten Ebene liegt, kann man sich am lebenden Auge überzeugen, wenn man es so von der Seite ansieht, dafs die Pupille hinter dem Rande der Sclerotica zu verschwinden beginnt. Man sieht alsdann, wie in *Fig. 12*, perspectivisch vor der Pupille einen helleren Streifen, ein verzogenes Bild der Iris, und vor diesem am Rande der Hornhaut einen dunkleren Streifen, den jenseitigen über die Hornhaut greifenden Rand der Sehnenhaut. Bewegt der Beobachter sein Auge noch weiter zurück, so verschwindet ihm die Pupille und Iris ganz, und hinter dem noch sichtbaren Teile der Hornhaut erscheint nur noch der jenseitige Scleroticalrand. Da die Lichtstrahlen, welche einmal durch die Hornhaut in die wässrige Feuchtigkeit eingetreten sind, geradlinig durch diese fortgehen, so folgt daraus, dafs die Iris weiter zurück liegt, als eine die äufseren Ränder der Hornhaut verbindende Linie.



Fig. 12.

Kennt man den Krümmungsradius im Scheitel der Hornhaut, so kann man die Distanz der Pupillenfläche vom Scheitel der Hornhaut am lebenden Auge ziemlich genau bestimmen, indem man die scheinbare Lage der Iris im Verhältnis zur scheinbaren Lage eines von der Hornhaut gespiegelten Lichtpunktes bestimmt. Das Spiegelbild eines entfernten Lichtpunktes liegt ein wenig hinter der Fläche der Pupille, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man von verschiedenen Seiten das Auge ansieht, und die perspectivische Lage des Lichtpunktes zu den Rändern der Pupille sich merkt.

Ist *a b* in *Fig 13* die Pupille, *c* der scheinbare Ort des gespiegelten Lichtpunktes,
sind *d c* und *f c* zwei verschiedene Richtungen, aus denen der Beobachter nach dem 17
Punkte *c* hinblickt, so wird dieser Punkt von *d* aus gesehen hinter dem Punkte *g* der Pupillarebene, also scheinbar näher an *a*, von *f* aus hinter dem Punkte *h* scheinbar näher an *b* liegen; wie es auch in Wirklichkeit der Fall ist. Man würde nun die Lage des Punktes *c* am einfachsten genau bestimmen können, wenn man seine scheinbare perspectivische Entfernung von den beiden Rändern der Pupille mäfse, was mit dem Ophthalmometer ausführbar wäre. Aber hierbei sind die fast fortdauernden Schwankungen der Weite der Pupille hinderlich.

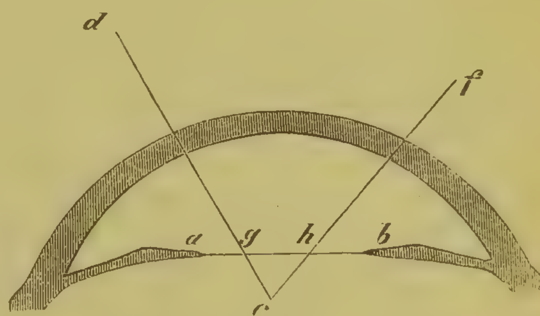


Fig. 13.

Ich fand es deshalb vortheilhafter, etwas anders zu verfahren. Es seien an dem betreffenden Auge die elliptischen Axen der Hornhaut gemessen worden, und die Lage der Gesichtslinie zu ihnen bekannt. Steht dann vor dem Auge ein Licht, dessen Stellung in Bezug auf die Gesichtslinie ebenfalls bekannt ist, so läfst sich aus den bekannten Gesetzen der kugeligen spiegelnden Flächen leicht der scheinbare Ort des von der Hornhaut entworfenen Spiegelbildes berechnen. Wir nehmen also im folgenden die Lage dieses Spiegelbildes immer als bekannt an. Sucht man nun eine solche Stellung des Lichts, des Fixationspunktes und des Ophthalmometers, dafs man von den durch letzteres erblickten Doppelbildern des Lichtpunktes auf der Hornhaut gleichzeitig das eine mit dem einen Rande der Pupille, das andere mit dem andern zum Decken bringen kann: so folgt daraus, dafs von dem Orte des Ophthalmometers aus gesehen der gespiegelte Lichtpunkt

perspectivisch hinter dem Mittelpunkte der Pupille liegt. Es seien in *Fig. 14* die beiden Linien $e\,d$ und $\varepsilon\,\delta$ parallel der Fernrohraxe des Ophthalmometers, $a\,b$ und $\alpha\,\beta$ die beiden Doppelbilder des horizontalen Durchschnitts der Pupille. Wir nehmen an, daſs der Mittelpunkt der Pupille, das Licht, die Axe des Fernrohrs, die Gesichtslinie des beobachteten Auges alle in derselben Horizontalebene liegen. Nach der oben in §. 2 gegebenen Theorie dieses Instruments müssen alle Verbindungslinien entsprechender Punkte der beiden Doppelbilder gleich lang und senkrecht gegen die Axe des Fernrohrs, die beiden Doppelbilder selbst aber congruent sein. Danach ist also $a\,\alpha$ gleich und parallel $b\,\beta$, und $a\,b$ gleich und parallel $\alpha\,\beta$. Es seien nun d und δ die entsprechenden Doppelbilder des Lichtpunktes, und es sei eine solche Stellung des Auges gefunden, bei der d von a gedeckt wird und δ von γ, d. h. wo die der Fernrohraxe parallele Linie $d\,e$ durch a und $\delta\,\varepsilon$ durch b geht. Da $d\,\delta$, $a\,\alpha$ und $b\,\beta$ normal zu den Parallelen $d\,e$ und $\delta\,\varepsilon$ sind, ist

Fig. 14.

$$d\,\delta : b\,\beta = \alpha\,\gamma : \gamma\,\beta,$$
$$d\,\delta : a\,\alpha = c\,b : a\,c.$$

Da nun aber die Entfernungen entsprechender Punkte der Doppelbilder gleich sind, ist

$$d\,\delta = a\,\alpha = b\,\beta,$$

folglich auch

$$\alpha\,\gamma = \gamma\,\beta \text{ und}$$
$$c\,b = a\,c.$$

Die Punkte c und γ, hinter welchen die Lichtpunkte d und δ perspectivisch erscheinen, sind also die Mittelpunkte der Pupillen.

Es ist nun leicht, durch passende Abmessungen zu ermitteln, welchen Winkel die Linie $e\,d$ oder die Axe des Fernrohrs mit der Gesichtslinie des beobachteten Auges macht. Dann ist die Lage der Linie $e\,d$ im Horizontalschnitt des Auges gegeben durch einen Punkt (Lichtbild auf der Hornhaut) und den Winkel, den sie mit einer anderen Linie von bekannter Richtung, der Gesichtslinie, bildet. In dieser Linie $e\,d$ liegt auch der Mittelpunkt der Pupille.

Dann braucht man nur noch eine zweite Beobachtung derselben Art zu machen, wobei man von einer anderen Richtung her in das beobachtete Auge sieht. Man bekommt dann eine zweite gerade Linie von bekannter Lage, in welcher der Mittelpunkt der Pupille liegt. Dieser muſs also dort liegen, wo die beiden betreffenden Linien sich schneiden, und seine Entfernung von der Hornhaut kann endlich durch Construction oder Rechnung vollständig gefunden werden.

18 Die Beobachtungsmethode war nun folgende: *A* (*Fig. 15*) ist das Auge, an welchem die Messung vorgenommen werden soll; es sieht durch die Öffnung eines Schirms, um seine Lage annähernd festzustellen. In einiger Entfernung von ihm befindet sich eine horizontale Scale *C D*. Denkt man sich vom Auge *A* ein Loth auf die Scale gefällt, so befindet sich an dessen Fuſspunkte *B* ein Schirm mit einer kleinen Öffnung, hinter der eine Flamme steht, deren Licht durch die Öffnung auf das Auge fällt, und von der Hornhaut gespiegelt wird. Bei *F* befindet sich ein verschiebbares Zeichen, welches als Gesichtspunkt dient. Bei G_1 und G_2 sind die Stellungen angedeutet, die man dem Ophthalmometer nach einander giebt, beide gleichweit von *B* entfernt. Für die drei Füſse des Fernrohrs macht man Marken auf dem Tische, da die Stellung des Fernrohrs während des Versuchs gewechselt wird. Das Auge *A* wird nun angewiesen, fortdauernd nach dem Zeichen *F* hinzusehen und allen Bewegungen desselben zu folgen. Der Beobachter, welcher zuerst von G_1 aus beobachten möge, dreht die Glasplatten des Ophthalmometers so weit, bis von den Doppelbildern des hellen Pünktchens auf der Hornhaut das eine mit dem einen Pupillarrande zusammentrifft. Trifft dann das andere nicht

gleichzeitig auf den anderen Rand, so verschiebt er das Zeichen F so lange an der Scale, bis dies der Fall ist, und merkt den Theilstrich der Scale, wo F steht. Dasselbe Verfahren wird wiederholt bei der zweiten Stellung des Ophthalmometers in G_2.

Die Länge AB ist in Scalentheilen zu messen; daraus ist der Winkel FAB zu finden.

$$\frac{FB}{AB} = tang. \angle FAB.$$

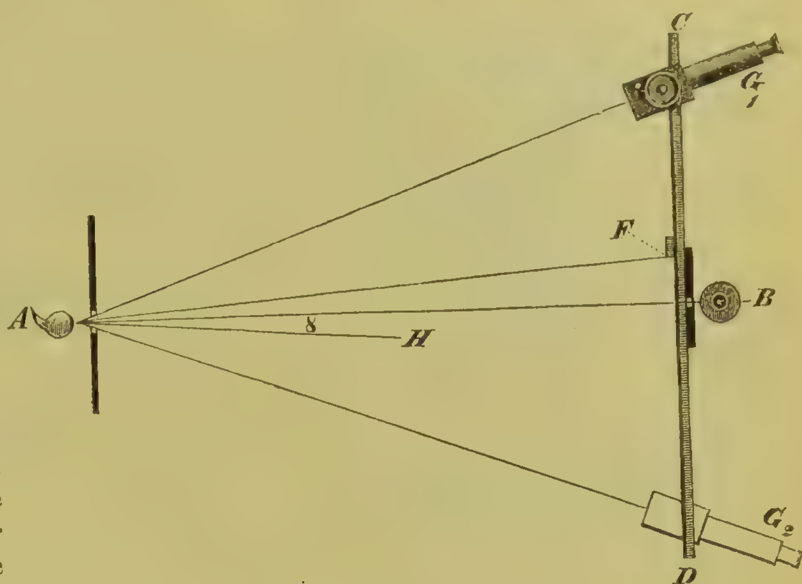


Fig. 15.

Ist AH die grofse Axe des Hornhautellipsoides und der Winkel FAH schon bekannt, so ergiebt sich daraus BAH, welchen Winkel man braucht, um die Lage des Spiegelbildes der Hornhaut zu bestimmen. Eben so bestimmt man den Winkel G_1AH, welcher die Richtung bestimmt, in welcher der Beobachter in das Auge gesehen hat. Der Mittelpunkt der scheinbaren Pupille (d. h. wie diese durch die Hornhaut erscheint) liegt dann also in einer mit G_1A parallelen Linie, welche durch den scheinbaren Ort des Hornhautbildchens gelegt ist.

Wie aus der scheinbaren Lage des Mittelpunktes der Pupille seine wirkliche Lage berechnet werden kann, wird sich in § 9 und 10 ergeben [1].

Die Resultate für die drei Augen, für deren Hornhäute ich die Abmessungen mit dem Ophthalmometer bestimmt habe, waren folgende:

		O. H.	B. P.	J. H.
Abstand der Pupillarebene vom Scheitel der Hornhaut	scheinbar	3,485	3,042	3,151
	wirklich	4,024	3,597	3,739
Abstand des Mittelpunktes der Pupille von der Hornhautaxe nach der Nasenseite	scheinbar	0,037	0,389	0,355
	wirklich	0,032	0,333	0,304

Die Bestimmungen von Knapp [2] nach derselben Methode ergaben für vier Augen: 3,692; 3,707; 3,477; 3,579 mm. Adamück und Woinow [3] fanden 3,998; 3,237; 2,900 und 3,633 mm.

Donders [4] construirte für diese Messung das Cornealmikroskop, ein verschiebbares, schwach vergröfserndes Mikroskop, dessen Verschiebung genau abgelesen werden kann, und welches man zuerst auf die (nöthigenfalls mit Kalomel bepuderte) Vorderfläche der Hornhaut, dann auf den Pupillarrand einstellt. Die Verschiebung ergiebt zunächst die scheinbare Tiefe der Kammer, aus der die wahre zu berechnen ist.

---

1 H. Helmholtz, *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie.* I. (2) S. 31. 1854.

2 H. Knapp, *Krümmung der Hornhaut.* Heidelberg 1859. p. 30. — *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* VI. (2) S. 1. 1860.

3 E. Adamück und M. Woinow, *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie.* XVI. (1) S. 144. 1870.

4 F. C. Donders, 1872 dem Londoner Ophthalmologischen Congrefs mitgetheilt. *Zehender's Monatsblätter für Augenheilkunde.* 1872. p. 300.

Eine etwas abweichende Methode ist von den Herren MANDELSTAMM und SCHOELER[1] im Berliner Physikalischen Laboratorium ausgeführt, und später von Herrn REICH[2] angewendet und vollständiger beschrieben. Dabei sucht man das Mikroskop gleichzeitig auf den Rand der Pupille und ein von der Cornea entworfenes Spiegelbild einzustellen. Damit man dies kann, müssen beide scheinbar in gleicher Ebene liegen. Das Cornealbild ist das durch eine kleine verschiebbare Sammellinse (3½ Zoll Brennweite) entworfene Bild einer fernen Flamme, dessen Strahlen durch eine zwischen Mikroskop und Auge befindliche unbelegte spiegelnde Glasplatte von vorn her auf die Hornhaut geworfen werden. Die Linse steht der spiegelnden Platte ziemlich nahe seitwärts von der Axe des Mikroskops. Darauf bestimmt man nach Entfernung des beobachteten Auges, in welcher Entfernung vom Objectiv des Mikroskops sich das von der Linse projicirte reelle Bild der Flamme einerseits und die scheinbare Pupille anderseits befanden, welche mit dem von der Hornhaut entworfenen Spiegelbilde der Flamme zusammenfiel. Kennt man den Krümmungsradius der Hornhaut, so genügt dies, um den Abstand des Spiegelbildes, bezüglich der scheinbaren Pupille von der Hornhautfläche zu berechnen. Der Hornhautradius kann, wenn keine grofse Genauigkeit verlangt wird, auch mit dem Cornealmikroskop gemessen werden, wenn man zwei Flammenreflexe erzeugt, und deren Abstand durch eine im Brennpunkt des Oculars angebrachte Glasplatte mifst, auf die eine Scala von Zehntel Millimeter eingeschnitten ist.

Die Messungen von Herrn REICH ergaben für drei Personen im Ruhezustand des des Auges (Accommodation für die Ferne):

Wirkliche Tiefe der vorderen Kammer in Millimeter.

	Ophthalmometer	Mikroskop
H. H.	3,6696	3,639
H. G.	3,636	3,708
H. S.	—	3,6516

Herr REICH fand, dafs Wiederholung der Messungen dieser Tiefe mit dem Mikroskop bessere Übereinstimmung ergab, als mit dem Ophthalmometer. In der That könnten Schwankungen in der Weite der Pupille einen nachtheiligen Einflufs bei der letzteren Messung haben, wenn dabei auch der Mittelpunkt der Pupille seine Lage ändern sollte.

19 Dafs die Iris der Linse anliege und nach vorn gewölbt sei, ist von den Anatomen vielfach bestritten worden. Die älteren Anatomen nahmen es an, bis namentlich PETIT, auf Grund seiner Untersuchungen an gefrorenen Augen, das Gegentheil behauptete und zwischen Iris und Linse die sogenannte hintere Augenkammer annahm. In gefrorenen Augen findet man bald dünne Eisblätter zwischen Iris und Linse, bald nicht. Der Meinung von PETIT folgten fast alle späteren Anatomen, bis in der neuesten Zeit STELLWAG VON CARION und CRAMER sich wieder für die enge Anlagerung der Iris an die Linse erklärten. Ich selbst fand es möglich, in der oben beschriebenen Weise directe Beobachtungen dafür zu liefern, welche mir keinen Zweifel übrig zu lassen scheinen.

§ 4. Die Netzhaut.

Die Netzhaut (*Retina*) ist eine flächenförmige Ausbreitung von Nervenmasse, im Hintergrunde des Auges zwischen Aderhaut und Glaskörper gelegen. Sie ist frisch ziemlich durchsichtig, an todten Augen weifslich trübe.

---

[1] L. MANDELSTAMM u. H. SCHOELER, *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* XVIII. (1) S. 155. 1872.

[2] M. REICH, *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* XX. (1) S. 207. 1874.

Im Hintergrunde des Auges ist sie am dicksten (0,22 mm); man bemerkt hier etwas nach der Nasenseite zu die weifse Eintrittsstelle des Sehnerven (*d* in *Fig. 1*, S. 3) und etwas nach der Schläfenseite hinüber (bei *p*) einen gelben Fleck (*Macula lutea Retinae*), die Stelle des deutlichsten Sehens. Nach vorn zu wird die Netzhaut dünner (am vorderen Rande 0,09 mm) und endet da, wo die Ciliarfortsätze beginnen, mit einem gezackten Rande (*Ora serrata Retinae*), wenigstens hören hier ihre nervösen Elemente auf. Sie ist an dieser Stelle eng verbunden mit der Aderhaut und Glashaut (der Hülle des Glaskörpers), und die membranösen Gebilde, welche hier ihre anatomische Fortsetzung bilden (*Pars ciliaris Retinae* und *Zonula Zinnii*), haben eine ganz andere Structur und physiologische Bedeutung.

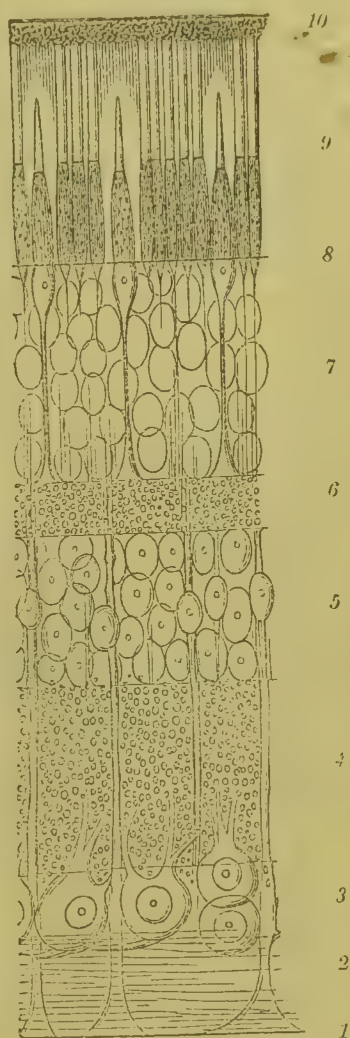


Fig. 16.

Die Netzhaut besteht theils aus den gewöhnlichen mikroskopischen Bestandtheilen des Nervensystems, Nervenfasern, Ganglienkörpern, Kernen, theils aus eigenthümlichen, den Stäbchen (*Bacilli*) und Zapfen (*Coni*). *Fig. 16* stellt einen vergröfserten Durchschnitt der Netzhaut des Menschen dar, entworfen von Max Schultze, in den Dimensionen geändert von Schwalbe. Die Reihe der Schichten, von der vorderen am Glaskörper anliegenden Schicht beginnend, ist die folgende:

1) *Membrana limitans interna*, eine glashelle elastische Haut.

2) Nervenfaserschicht, Fortsetzung der Fasern des Sehnerven, die sich von dessen Eintrittsstelle radial über die ganze Netzhaut ausbreiten mit Ausnahme des gelben Flecks, den sie umgehen. In der Umgebung des Nervenstamms ist diese Schicht daher am dicksten (0,2 mm), nach den Grenzen der Netzhaut hin viel dünner. Es sind in Bündel zusammengefafste blasse marklose Fasern von sehr verschiedener Dicke (0,0005 bis 0,003 und 0,005 mm), im frischen Zustande mit parallelen, glatten Rändern, nach Einwirkung von Reagentien treiben sie an einzelnen Stellen varicös auf.

3) Die Ganglienzellenschicht: *Fig 17* zeigt in *A* zwei solche Zellen aus der frischen Netzhaut des Rindes, *B* aus dem gelben Fleck des Menschen. Sie haben grofse Kerne mit Kernkörperchen, um diese einen feinkörnigen weichen, in Wasser nicht zerfliefsenden Markgehalt. Sie zeigen regelmäfsig

je einen in eine Faser der vorigen Schicht übergehenden Fortsatz (*a*, *a*), und einen oder auch (namentlich die gröſseren Zellen) mehrere, sich zum Theil verästelnde Fortsätze *b*, welche in die folgenden Schichten eintreten. Beim Menschen beträgt der Durchmesser der Zellen zwischen 0,01 und 0,03 mm; sie liegen in dem gröſseren Theile der Netzhaut in einfacher Schicht neben einander; nur in der Nähe des gelben Flecks drängen sie sich zusammen, und innerhalb desselben liegen bis 8 oder 10 Schichten übereinander, während das Centrum desselben davon frei bleibt, und deshalb als eine vertiefte dünne Stelle, die Netzhautgrube (*fovea centralis*), erscheint.

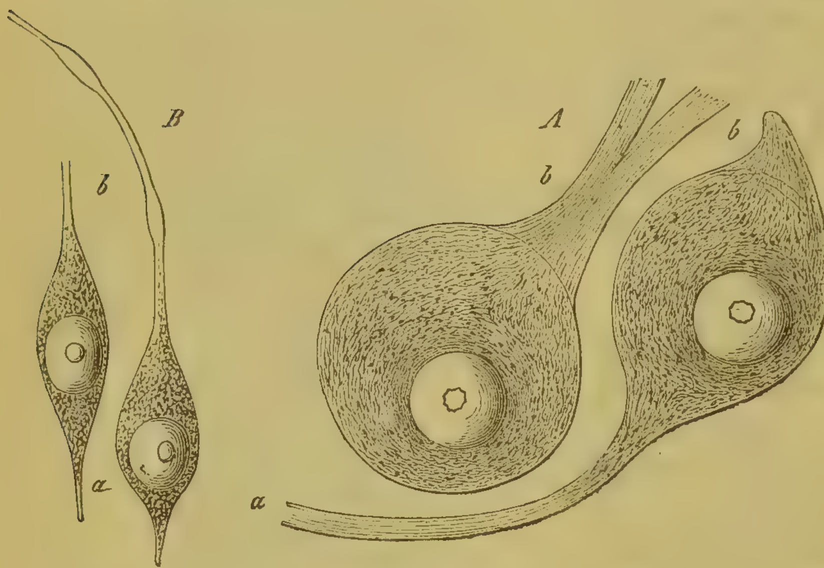


Fig. 17.

4) Die innere granulirte Schicht, eine schwer zu entwirrende Masse einer feinkörnigen Grundsubstanz, durchzogen von feinsten blassen Nervenfasern, die wohl aus den Fortsetzungen der Ganglienzellen hervorgehen, und sehr feiner bindgewebiger und elastischer Stützfasern, welche sich überhaupt zwischen allen andern Elementen der Netzhaut von der inneren zur äuſseren *Membrana limitans* hinziehen.

5) Die innere Körnerschicht (äuſsere Nervenzellen Henle), der der Ganglienzellen ähnlich; nur sind diese Körner viel kleiner, umschlieſsen ziemlich eng ihren Kern. Auch diese senden je einen sehr feinen Fortsatz central, d. h. in die vorausgehende Schicht, dagegen mehrere, theilweis verästelte peripher ab. Auſser den Körnern, die den Nervenzellen entsprechen, finden sich noch Kerne des Stützfasersystems in dieser Schicht vor.

6) Die äuſsere granulirte Schicht von sehr räthselhafter Structur; platte vielstrahlige Zellen mit Kernen liegen der Fläche der Netzhaut parallel, zwischen ihren Rändern bleiben Öffnungen; feinste Nervenfasern scheinen ebenfalls der Fläche parallel zu ziehen; daneben ein engmaschiges Netzwerk schärfer gezeichneter Fasern.

7) Die äuſsere Körnerschicht.

8) Die *Membrana limitans externa.*

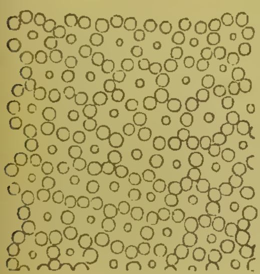
9) Stäbchen und Zapfen. *Fig. 18* zeigt neben einander ein Stäbchen und einen Zapfen vom Menschen nach Max Schultze. *l l* bezeichnet die Stellen, wo sie in die *Limitans externa* eingefügt sind. Sie stehen auf der

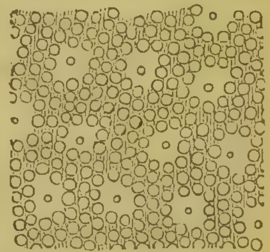
äufseren, nach der *Uvea* gekehrten Fläche dieser Membran palissadenförmig nebeneinander gedrängt, so dafs sie von der Fläche gesehen ein regelmäfsiges Mosaik bilden. Die Zapfen haben ein dickeres Innenglied, als die Stäbchen, und ein kürzeres Aufsenglied. In der Netzhautgrube finden sich nur Zapfen, aber von etwas geringerem Durchmesser (0,003 mm) und länger (bis zu 0,06 und 0,1 mm), überhaupt den Stäbchen ähnlicher, während die Dicke ihrer Innenglieder in andern Theilen der Netzhaut bis zu 0,0045 und 0,0067 mm wächst, ihre Länge nur 0,032 bis 0,036 mm beträgt. Die Stäbchen sind etwa 0,002 dick und in der Mitte der Netzhaut 0,06 mm lang, am Rande nur 0,04 mm. Die Form des Mosaiks ist nach Max Schultze in *Fig. 19* aus der Umgebung des gelben Flecks, in *Fig. 20* von einer peripherischen Stelle der Netzhaut dargestellt. Die Zapfen entsprechen den breiteren weifsen Stellen; der kleine Kreis in der Mitte derselben entspricht dem dünnen Aufsengliede.



Fig. 18.

Stäbchen und Zapfen zerfallen, ein jedes in zwei verschiedenartige Hälften, das Innenglied und das Aufsenglied. Die Aufsenglieder bestehen aus einer sehr durchsichtigen, übrigens doppeltbrechenden Substanz, die in ihren Reactionen dem Nervenmark ähnlich erscheint. Frisch erscheinen sie mit feiner Längsstreifung, was von einer Canellirung ihrer Oberfläche herzurühren scheint. Dagegen haben sie die Neigung in eine Reihe von feinen Querscheibchen zu zerfallen, wie dies am Aufsengliede des Zapfens, *Fig. 18*, angedeutet ist. Max Schultze sah eine entsprechende äufserst feine Querstreifung, „haarscharf, wie in Kupfer gestochen" auch an frischen Objecten. Bei Meerschweinchen fand er die Abstände je zweier Querlinien gleich 0,00087 mm und etwa 16 Plättchen in der Länge des Aufsengliedes.


Fig. 19.


Fig. 20.

Die Aufsenglieder der Stäbchen enthalten ein rothes, durch Licht zerstörbares Pigment, den Sehpurpur, über dessen näheres Verhalten wir im § 18 weiter berichten werden.

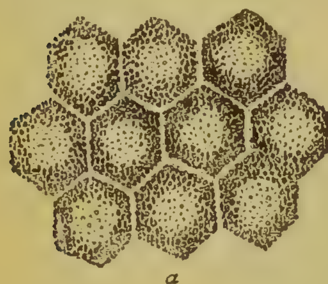
Die Innenglieder erscheinen frisch blafs und feinkörnig; durch Reagentien treten eigenthümliche Körper (Opticus-Ellipsoide, Krause; Fadenapparat, M. Schultze) beim Menschen am äufseren Ende hervor. Bei Vögeln, Reptilien und Amphibien liegen in ihrem hinteren Ende gelb und roth gefärbte Öltröpfchen.

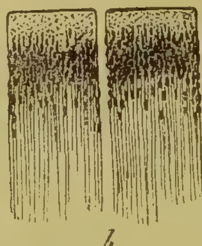
Nach innen hin, aber an der andern Seite der *Limitans externa* liegend, schliefst sich an jedes Zapfeninnenglied ein Zapfenkorn (*Fig. 16* zwischen 8 und 6) an, von dem eine Faser, die Zapfenfaser, durch die äufsere Körnerschicht bis zur Grenze der äufsern granulirten Schicht läuft, um hier

mit einer kegelförmigen Anschwellung zu endigen. Von der gegen die *Granulosa externa* gekehrten Basis des Kegels gehen feine Fäserchen, feinen Nervenfasern in den Reactionen ähnlich, ab, die sich der Fläche der Netzhaut parallel in die genannte Schicht einsenken.

Die Stäbchen gehen spitz in feinere Fasern über, welche je ein Korn (Stäbchenkorn) in ihrem Verlauf enthalten, und bilden schliefslich an der *Granulosa externa* ein kleinere kolbenförmige Anschwellung. Die Stäbchenkörner sind quergestreift und liegen an denjenigen Stellen der Netzhaut, wo viele Stäbchen vorkommen, in vielen Lagen über einander.

10) Endlich die letzte Schicht der Netzhaut, die an die Aderhaut stöfst, ist die Pigmentschicht. Von der äufseren Fläche her gesehen, zeigt sie ziemlich regelmäfsig sechseckig abgegrenzte Zellen von 0,012 bis 0,018 mm Durchmesser (*Fig. 21a*). Sie enthalten im Inhalt längliche schwarze Pigmentkörnchen, die wie kleine nadelförmige Krystalle aussehen. *Fig. 21 b* zeigt in einer Seitenansicht der Pigmentzellen die grofse Zahl feiner Ausläufer, welche sich in die Zwischenräume zwischen die Stäbchen hineinziehen, mindestens bis zur Grenze zwischen Aufsenglied und Innenglied. Eine Zelle, an welcher Aufsenglieder von Stäbchen zwischen diesen Ausläufern festhängen, ist in *Fig. 21 c* dargestellt. Die Pigmentkörnchen können in die Fortsätze hineinwandern, und wieder zu den Zellen zurück, worauf ebenfalls das Licht Einflufs hat. Auch hierüber wird § 18 Näheres bringen. *Fig. 22* zeigt nach Frisch die Pigmentkörnchen *a* vom Menschen, *b* vom Meerschweinchen, *c* von der Taube, *d* vom Frosch, *e* vom Hecht.





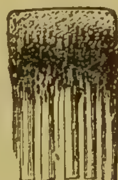


Fig. 21.

Nach der Beobachtung von Boll entspricht in der Netzhautgrube je ein Zapfen einer Pigmentzelle, während gegen den Rand der Netzhaut hin bis zu 15 Stäbchen auf einer Pigmentzelle befestigt sind, und die Zellen Sechsecke bilden, die in meridionaler Richtung etwas verlängert sind.

21 Der gelbe Fleck, für das Sehen der wichtigste Theil der ganzen Netzhaut, unterscheidet sich von den übrigen Theilen durch seine gelbe Farbe welche von einem alle Theile mit Ausnahme der Stäbchenschicht durchdringenden Pigmente herrührt. Ihm fehlt die Nervenfaserschicht, und in der Stäbchenschicht finden sich nur Zapfen. In seiner Mitte befindet sich eine sehr durchsichtige vertiefte Stelle, die schon erwähnte Netzhautgrube (*Fovea centralis*), welche leicht einreifst und daher früher für eine Öffnung gehalten wurde. Die Nervenzellenschicht ist am Umfang des gelben Flecks stärker als in sämmtlichen übrigen Theilen der Netzhaut, in der *Fovea centralis* wird sie aber wieder dünner, und enthält nur wenige Lagen von Zellen über einander; die granulöse Schicht fehlt vielleicht in der Mitte ganz. Di

innere Körnerschicht und Zwischenkörnerschicht nehmen gegen den gelben Fleck hin bedeutend zu, während die äufsere Körnerschicht dünner wird. In der Netzhautgrube verdünnt sich nach H. MÜLLER auch die innere Körnerschicht. Nach REMAK und KÖLLIKER fehlen in der *Fovea centralis*

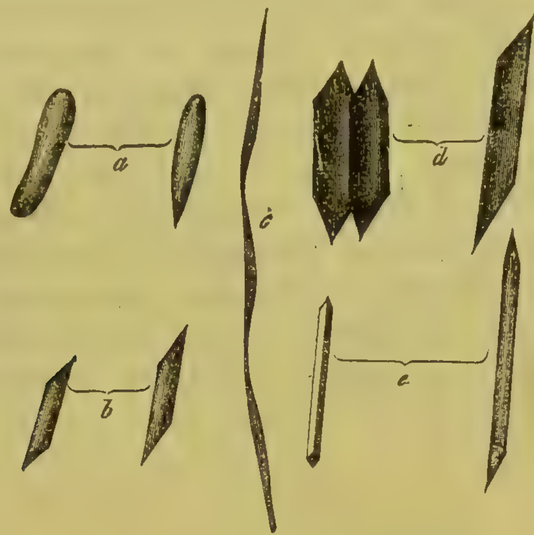


Fig. 22.

alle Schichten aufser den Nervenzellen und Zapfen. Zwischen letzteren und der Aderhaut soll nach REMAK hier eine intensiv gelbe glashelle Substanz liegen.

Fig. 23 zeigt einen Durchschnitt der Netzhautgrube nach HENLE; *b* sind



Fig. 23.

die Zapfen, *L e* die *Limitans externa*, *g* die Zapfenkörner, deren ganz schräg verlaufende Fasern *f* die Verbindung mit den zur Seite gelagerten

Körnern und Ganglienzellen der vorderen Schichten herstellen. Weiter ist *gle* die äufsere gangliöse Schicht, *gri* die innere granulierte, *gli* die innere gangliöse, *n* die Nervenfaserschicht, *L h* die *Limitans hyaloidea* oder *interna*.

21 Auch bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel markirt sich die Netzhautgrube durch einen besonderen Lichtreflex (s. § 16). Sie enthält den Punkt des directen Sehens, d. h. auf ihr wird der Punkt des Gesichtsfeldes abgebildet, auf welchen wir den Blick richten.

n Für eine andere physiologisch wichtige Stelle, die Eintrittsstelle des Sehnerven ist ein Durchschnitt in *Fig. 24* gegeben; darin sind *OO* die Faserbündel, *r* die Netzhaut, *ch* die Aderhaut, *scl* die Sclerotica, alle drei in der Mitte durch die Sehnervenfasern durchbohrt. Die Sehnenhaut schiebt eine durchlöcherte Lamelle *Lamina cribrosa*, *Lcr*, dazwischen. *Vc* ist die centrale Vene des Nerven. Die Figur stellt nur die linke Hälfte des Durchschnitts dar. Sie ist also auf der andern Seite der centralen Vene symmetrisch zu ergänzen.

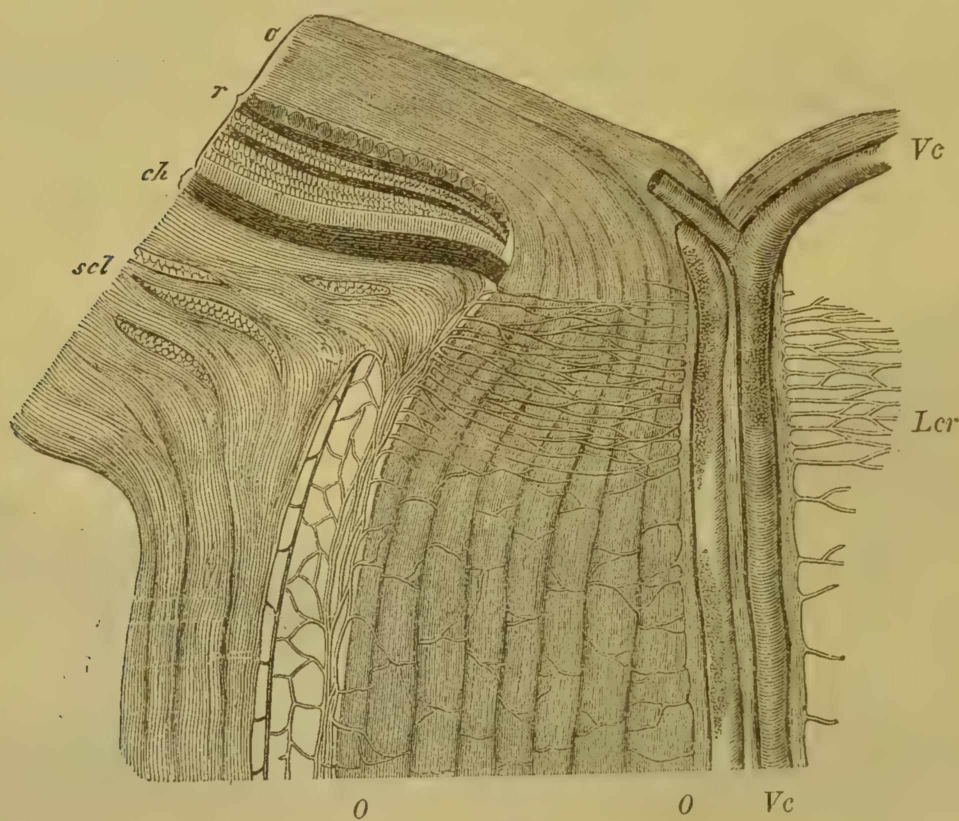


Fig. 24.

21 Die Gefäfse der Netzhaut treten in der Mitte des Sehnerven in das Auge (*Arteria* und *Vena centralis Retinae*), und verästeln sich von da aus baumförmig nach allen Richtungen. Anfangs liegen sie nahe unter der *Membrana limitans interna*, in der Schicht der Sehnervenfasern, später dringen sie auch in

die der Nervenzellen und in die feingranulirte Schicht ein, und verästeln sich 22
in diesen beiden Schichten in ein weitmaschiges Capillargefäfsnetz. Die Lage und Form dieses Gefäfsbaums ist für gewisse optische Erscheinungen wichtig[1]; ich gebe deshalb in *Fig. 25* eine Abbildung desselben, welche von DONDERS nach einem Injectionspräparate gefertigt worden ist. Die Arterien sind hell, die Venen dunkel. In den gelben Fleck treten keine stärkeren Gefäfse, in die Netzhautgrube auch keine Capillargefäfse ein. Die letztere ist von einem Kranz von Endschlingen capillarer Gefäfse umgeben.



Fig. 25.

An dem vorderen Rande (*Ora serrata*) geht die Netzhaut in eine Lage von Zellen über (*Pars ciliaris Retinae*), welche zugleich mit der sich ebenfalls fortsetzenden *Membrana limitans* die Ciliarfortsätze und die hintere Fläche der Iris, wo sie in Pigmentzellen überzugehen scheinen, überziehen, und diesen Theilen fest anhaften.

Da die Gröfsenverhältnisse der Netzhaut und ihrer Elemente für sehr viele optische Erscheinungen von grofser Wichtigkeit sind, gebe ich hier eine Zusammenstellung darauf bezüglicher Messungen älterer Beobachter, auf Millimeter reducirt. Ich bezeichne die Messungen von C. KRAUSE mit *Kr.*, von E. H. WEBER mit *W.*, von BRÜCKE mit *B.*, von KÖLLIKER mit *Ko.*, von VINTSCHGAU mit *V.*

Durchmesser der Eintrittsstelle des Sehnerven *Kr.* 2,7 und 2,14. *W.* 2,09 und 1,71.

Durchmesser des Gefäfsstrangs darin *W.* 0,704 und 0,63.

Entfernung der Mitte des Sehnerven von der Mitte des gelben Flecks *W.* 3,8. *Kr.* 3,28 und 3,6. Vom inneren Ende des gelben Flecks *Ko.* 2,25 bis 2,7.

Horizontaler Durchmesser des gelben Flecks *Kr.* 2,25. *W.* 0,76. *Ko.* 3,24.

Verticaler desgl. *Ko.* 0,81.

Durchmesser der Netzhautgrube *Ko.* 0,18 bis 0,225.

Entfernung der *Ora serrata* vom Rande der Iris an der Nasenseite *B.* 6, an der Schläfenseite 7.

Dicke der Netzhaut am Umfang des Sehnerven *Ko.* 0,22.

Desgl. an der hinteren Seite des Augapfels *Kr.* 0,164. *Ko* 0,135.

Desgl. am Äquator *Kr.* 0,084.

Desgl. am vorderen Rande *Ko.* 0,09.

Dicke der Schichten im gelben Flecke. *Ko.*: Nervenzellen 0,101 bis 0,117; feinkörnige Schicht 0,045; innere Körnerschicht 0,058; Zwischenkörnerschicht 0,086; äufsere Körnerschicht 0,058; Zapfen 0,067.

Durchmesser der Nervenzellen *B.* 0,01 bis 0,02. *Ko.* 0,009 bis 0,036, in der Regel zwischen 0,013 und 0,022.

Durchmesser der Körner *B.* 0,006 bis 0,008. *Ko.* 0,004 bis 0,009. Der Zapfenkern *V.* 0,0068.

Durchmesser der Stäbchen *B.* und *Ko.* 0,0018. *V.* 0,0010.

---

[1] S. unten § 15.

Länge der Stäbchen *B.* 0,027 bis 0,030. *Ko.* 0,063 bis 0,081.

Durchmesser der Zapfen *Ko.* 0,0045 bis 0,0067. *V.* 0,0034 bis 0,0068. Im gelben Flecke *Ko.* 0,0045 bis 0,0054.

Länge der Zapfen *V.* 0,015 bis 0,020.

23 ## § 5. Die Krystallinse.

Die Krystallinse ist ein durchsichtiger, farbloser, biconvexer Körper, dessen vordere Fläche weniger gewölbt ist als die hintere. Sie wird umschlossen von einer structurlosen glashellen Membran (Linsenkapsel), welche in allen Eigenschaften der Descemetschen Membran entspricht; auch trägt sie, wie diese, vorn, wo sie von der wässrigen Feuchtigkeit bespült wird, nach Brücke ein Epithelium, welches Henle und Kölliker dagegen läugnen. Ihre hintere Hälfte ist mit der Glashaut verwachsen. Die Substanz der Linse ist in den äufseren Schichten von gallertartiger Consistenz, in deren Mitte oder dem Kerne der Linse dagegen consistenter. Das Ganze bildet in frischem Zustande einen elastischen Körper, der jeder äufseren Gewalt zwar leicht nachgiebt, aber auch schnell und vollkommen seine frühere Form wieder annimmt.

Die Substanz der Linse ist doppeltbrechend. Wenn man sie zwischen zwei gekreuzten Nicolschen Prismen betrachtet, sieht man das schwarze Kreuz mit farbigen Ringen, welches senkrecht zur optischen Axe geschnittene einaxige Krystalle zeigen.

Die Masse der Linse besteht aus einem eigenthümlichen Proteinkörper, dem Globulin oder Krystallin. Ihre mikroskopischen Elementartheile sind Fasern von sechsseitigem Querschnitt, 0,0056 bis 0,0112 mm breit, 0,002 bis 0,0038 mm dick, im Kerne fester und schmaler als in den äufseren Schichten. Ihre breitere Fläche liegt der Oberfläche der Linse parallel, daher die Linse auch leicht in dieser Richtung in zwiebelartig über einander liegende Schichten spaltet. *Fig. 26* zeigt die Querschnitte der Fasern in ihrer Zusammenlagerung, *Fig. 27* zeigt die Richtung der Schichten in einem Durchschnitte der Linse. Die Fasern haben im Allgemeinen in jeder einzelnen Schicht die Richtung von der Axe der Linse nach ihrer Peripherie hin. Nur in den der Axe näheren Theilen bilden sie, indem sie mit kernhaltigen geschwollenen Enden aneinanderstossen, eigenthümliche sternförmige Figuren, wie eine solche aus den äufseren Linsenschichten in *Fig. 28* abgebildet ist. In den Kernschichten hat der Stern nur drei Strahlen, welche mit einander Winkel von
24 120° machen. Die Sterne der hinteren und vorderen Fläche sind um 60° gegen einander gedreht. In den äufseren Schichten spalten sich dagegen



Fig. 26.

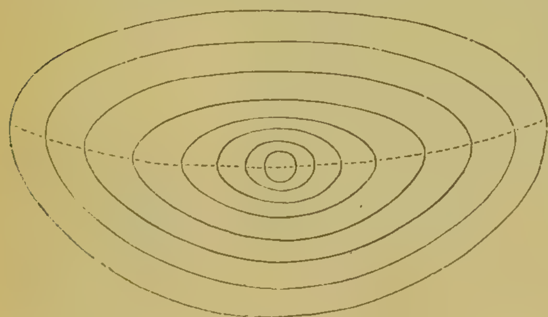


Fig. 27.

die drei Hauptstrahlen der Sterne vielfach in Nebenstrahlen, so dafs viel verwickeltere und unregelmäfsigere Figuren entstehen.

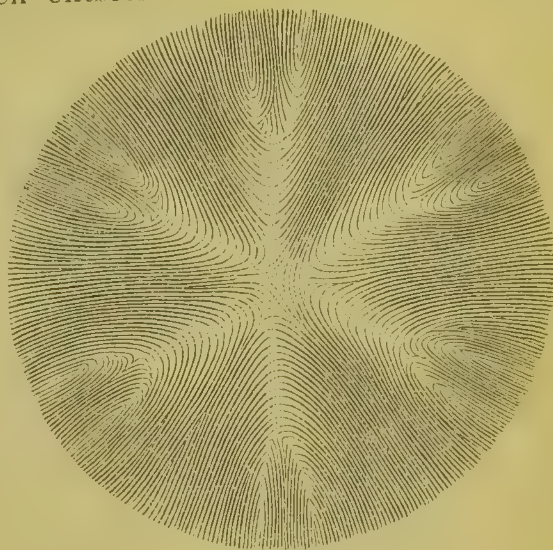


Fig. 28.

Dicht unter der Kapsel liegt statt der Fasern eine Zellenschicht, welche nach dem Tode zerfliefst und dann den *Liquor Morgagnii* bildet. Ähnliche Zellen verbinden nach Brücke auch die Faserenden in den Strahlen der Sterne wenigstens in den äufseren Schichten, während Bowman und Kölliker hier eine structurlose Substanz annehmen. Letzterer erklärt auch die zellenähnlichen Gebilde an der hinteren Linsenfläche für geschwollene und sich gegenseitig abplattende Enden der Linsenfasern, welche sich hier an die Kapsel heften. In jeder Hälfte der Linse existiren also drei durch die Axe gehende Ebenen, die den Hauptstrahlen der Sterne entsprechen (*central planes*, Bowman), in denen die Structur der Linse abweichend ist; in den oberflächlichen Schichten theilen sich diese Flächen noch weiter. Es hängen damit wahrscheinlich gewisse Unregelmäfsigkeiten in der Brechung der Lichtstrahlen zusammen.

Thomas [1] hat eigenthümliche Figuren beschrieben, welche die Faserenden auf Durchschnittsflächen getrockneter Linsen bilden, und welche meist aus zwei Systemen concentrischer Kreise bestehen. Diese sind von Czermak [2] aus dem Faserverlauf der Linse erklärt worden.

Da die Dimensionen der Krystallinse sich bei der Accommodation des Auges ändern, verschiebe ich die Angaben über ihre Gröfse und die Methoden sie zu messen auf § 10.

§ 6. Wässrige Feuchtigkeit und Glaskörper.

Die wässrige Feuchtigkeit (*Humor aqueus*) füllt den Raum zwischen 25
der Hornhaut, Iris und Linse aus. Den Raum, welcher zwischen der hinteren Fläche der Hornhaut, der vorderen Fläche der Iris und der Pupillarebene liegt, nennt man die vordere Augenkammer. Den Raum dagegen, den man zwischen der Pupillarebene, der hinteren Fläche der Iris und der vorderen Fläche der Linse vorhanden glaubte, nannte man hintere Augenkammer; indessen ist dies in der That im normalen Zustande nur eine capillare Spalte, indem die hintere Fläche der vorderen der Linse dicht anliegt. Nur bei starker künstlicher Erweiterung der Pupille durch Belladonna scheint sich die Iris von der Linse zu entfernen.

---

[1] Thomas, *Prager medic. Vierteljahrsschr.* 1854. Bd. I. Aufserord. Beilage. S. 1.

[2] J. Czermak. *Zeitschrift für wissensch. Zoologie.* Bd. 7, S. 185. 1885. Die neuesten Untersuchungen über die Structur der Linse finden sich in: Otto Becker, *Zur Anatomie der gesunden und kranken Linse*, Wiesbaden. 1883.

Die wässrige Feuchtigkeit füllt also die vordere Augenkammer. Sie ist klar, farblos und besteht aus Wasser, welches etwa 2 Proc. fester Stoffe, nämlich Kochsalz und Extractivstoffe, enthält. Sein Brechungsverhältnifs ist kaum von dem des Wassers unterschieden.

Der Raum des Augapfels, welcher zwischen der Linse und der Netzhaut liegt, ist vom Glaskörper (*Corpus vitreum*, *Humor vitreus*) ausgefüllt, welcher von der Glashaut (*Membrana hyaloidea*) umschlossen wird. Der Glaskörper bildet eine gallertartige Masse von wenig Zusammenhang. Wenn man ihn zerschneidet, tropft eine dünne, nicht Faden ziehende Flüssigkeit aus. Diese reagirt alkalisch, und enthält 1,69 bis 1,98 Proc. feste Theile, von denen die Hälfte aus unorganischen Stoffen (Kochsalz, wenig kohlensaures Natron, Spuren von Kalk, Schwefelsäure und Phosphorsäure) besteht. Der organische Theil des Inhalts scheint hauptsächlich Schleimstoff zu sein, und enthält Spuren einer Proteinverbindung. Auch das Brechungsverhältnifs des Glaskörpers unterscheidet sich kaum von dem des Wassers, ist aber etwas höher als das der wässrigen Feuchtigkeit.

Bei Embryonen hat der Glaskörper einen zelligen Bau, später aber findet man von den Zellen nur einzelne Reste, Membranen, Körnerchen, körnige Massen, welche sich in der Flüssigkeit, wenn auch nicht ganz frei, bewegen. Seine Consistenz verdankt der Glaskörper wahrscheinlich einer geringen Menge einer stark aufgequollenen organischen Substanz (Schleimstoff oder Faserstoff). Geringe Mengen Faserstoff, welche sich aus hydropischen Flüssigkeiten abscheiden, geben oft ähnliche leicht bewegliche Gallerten,
26 aus denen die Flüssigkeit ausläuft, wenn man den Zusammenhang des Gerinnsels mechanisch zerstört. Läfst man den Glaskörper in Reagentien, welche den Schleimstoff niederschlagen, z. B. in Lösungen von essigsaurem Bleioxyd oder Chromsäure erhärten, so findet man auf Durchschnitten zuweilen regelmäfsige Streifungen, von denen es aber noch höchst zweifelhaft ist, ob sie Membranen entsprechen, welche sich durch den Glaskörper hinziehen.

Hannover nimmt auf Grund dieser Streifungen an, dafs im menschlichen Glaskörper ebene Membranen vorkommen, und sich alle in einer Linie schneiden, die von der Eintrittsstelle des Sehnerven nach der hinteren Fläche der Linse hinübergeht, und dafs die Membranen sich von dieser Linie nach dem äufseren Umfang des Glaskörpers hinüberziehen und dort ansetzen, so dafs der Bau des Glaskörpers ähnlich dem einer Apfelsine sein würde.

Bei den entoptischen Erscheinungen werde ich die Schlüsse besprechen, welche man daraus auf die Structur des Glaskörpers ziehen kann.

Die Glashaut ist eine sehr feine, glashelle, structurlose Membran, welche im hinteren Theile des Auges der *Membrana limitans interna* der Netzhaut anliegt, und ihr im Leben überall[1], nach dem Tode nur an der Eintrittsstelle des Sehnerven und an der *Ora serrata* fest anhaftet. Von der *Ora*

[1] M. de Vintschgau in *Sitzber. d. Wiener Akad.* XI. 943. 1853 u. A. Burow in *J. Müller's Archiv.* 1840.

serrata setzt sie sich, dünner geworden, fort bis zur hinteren Fläche der Linsenkapsel, mit der sie verschmilzt (*Fig. 1. k*), während sich zwischen sie und den Ciliartheil der Netzhaut noch eine andere Membran einschiebt, die *Zonula Zinnii* (*Ligamentum suspensorium lentis*), welche von manchen Anatomen als ein vorderes Blatt der Glashaut bezeichnet wird.

Die Zonula ist wie eine Halskrause gefaltet, so dafs sie der Oberfläche der Ciliarfortsätze folgt. Der vordere oder äufsere Rand ihrer Falten liegt fest mit der *Membrana limitans* verbunden in der Tiefe zwischen den Falten der Ciliarfortsätze, der hintere oder innere Rand ihrer Falten, welcher den Gipfeln der Ciliarfortsätze entspricht, nähert sich der Glashaut. In *Fig. 1* ist die Zonula durch die Linie *e* bezeichnet. Rechts fällt sie zwischen zwei Ciliarfortsätze, links zieht sie über den Gipfel eines solchen Fortsatzes hin. In dieser Weise gelangt sie zum Rande der Linse, und setzt sich in einer gewellten Linie an deren Kapsel fest. In *Fig. 29* ist nach Brücke ein Quadrant der Linse, projicirt auf eine durch die Axe *a b* der Linse gelegte Ebene, dargestellt. Die Ansatzlinie der Glashaut ist mit *c d* bezeichnet. Davor sieht man die gezackte Ansatzlinie der Zonula. Nach Henle würde die gewellte Linie fast ganz auf die vordere Seite der Linse hinüberrücken.

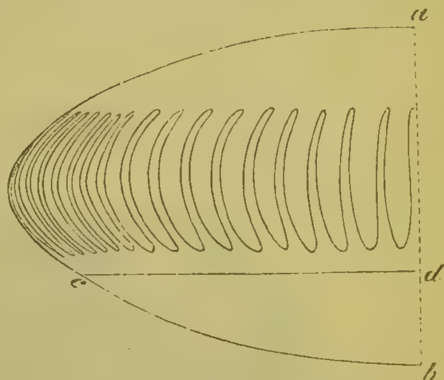


Fig. 29.

Der spaltenförmige Raum zwischen der Zonula und Glashaut wird *Canalis Petiti* genannt. Wenn man ihn aufbläst, nachdem man die Zonula von vorn frei gelegt hat, treten die eingestülpten Falten der Zonula gewölbt heraus, und das Ganze bekommt das Ansehn einer ionischen Eierleiste; daher nannte ihn sein Entdecker Petit auch *Canal godronné*. Bei
stärkerem Blasen zerreifsen die hervorgestülpten Theile der Membran, und 27
es bleiben nur die vorderen Faltenränder wegen ihrer gröfseren Festigkeit als Stränge stehen, welche die Linse an den Glaskörper anheften. Diese vorderen Faltenränder sind übrigens fest verbunden mit dem Ciliartheile der Netzhaut, der in der Tiefe zwischen den Ciliarfortsätzen hinzieht, und letzterer haftet wieder der Pigmentschicht fest an. Hier finden sich auch Faserzüge vor, welche nach Brücke aus den Fasern herstammen, zwischen welche die Nervenzellen der Netzhaut eingebettet sind. Diese drängen sich in der *Ora serrata* an den Stellen zusammen, die den Zwischenräumen je zweier Ciliarfortsätze entsprechen, und ziehen im Grunde dieser Zwischenräume nach vorn. Die Zonula selbst erklärt Brücke für eine structurlose Membran, während Henle und Kölliker sie selbst für faserig erklären. Gegen Reagentien sind die Zonula und ihre Fasern so resistent wie elastisches Gewebe.

Die Zonula sichert die Stellung der Linse, indem sie diese an den Ciliarkörper heftet, und kann auch, wenn sie gespannt ist, auf den Äqua-

torialrand der Linse einen Zug ausüben, welcher die Äquatorialdurchmesser der Linse verlängert, ihre Dicke in der Axe verringert, und ihre Flächen abplattet.

§ 7. Umgebung des Auges.

Der Augapfel liegt, in lockeres Fettzellgewebe eingebettet, in der knöchernen Augenhöhle (*Orbita*). Diese hat eine nahehin kegelförmige Gestalt. Die Grundfläche des Kegels ist die vordere Öffnung der Orbita in der Gesichtsfläche, die Spitze des Kegels liegt nach hinten und etwas nach einwärts. In *Fig. 30* ist die Lage der Augen in den beiden Augenhöhlen

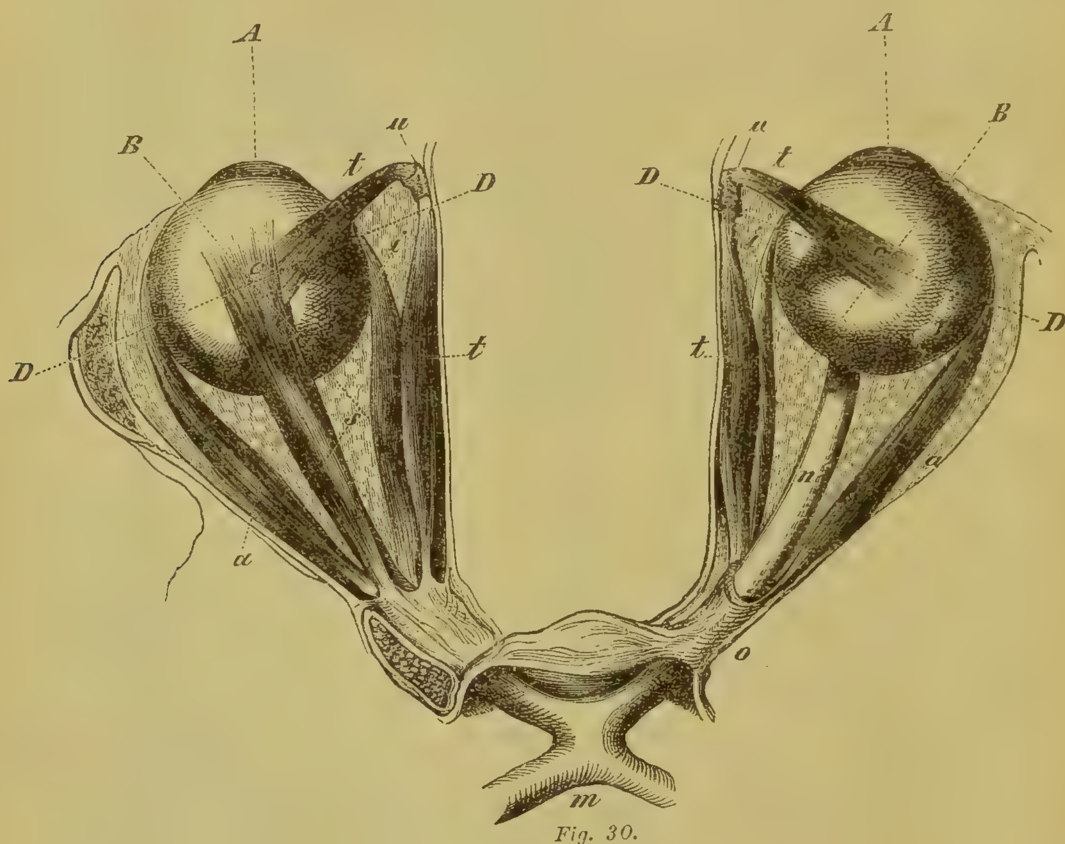


Fig. 30.

dargestellt. Aus der hinteren Seite des Augapfels rechts sieht man den Sehnerven *n* hervortreten, welcher durch ein in der Spitze der Augenhöhle gelegenes Loch *o* (*Foramen opticum*) in die Schädelhöhle eintritt, um sich hier bei *m* im *Chiasma nervorum opticorum* mit dem der anderen Seite zu vereinigen und zu kreuzen. Die Fortsetzungen der Sehnerven vom Chiasma bis zum Gehirn nennt man die *Tractus optici*. Die Fasern eines jeden *Tractus opticus* gehen theils in den Sehnerven derselben, theils in den der entgegengesetzten Seite über, ein kleiner Theil auch durch den *Tractus opticus* der anderen Seite nach dem Gehirne zurück. Auch wollen einige Beobachter Fasern gefunden haben, welche von dem einen Sehnerven durch das Chiasma in den anderen übergehen.

In der Augenhöhle liegen ferner sechs zur Bewegung des Augapfels 28
bestimmte Muskeln, nämlich

1) der innere gerade *i* und

2) der äufsere gerade *a*. Beide entspringen am Umfange des *Foramen opticum* in der Spitze der Augenhöhle, und setzen sich an die innere und äufsere Seite des Augapfels. Sie drehen ihn um seine verticale Axe.

3) Der obere gerade in *Fig. 30* rechts weggenommen, um den Sehnerven zu zeigen, links mit *s* bezeichnet, und

4) der untere gerade, welcher ebenso auf der unteren Seite der Orbita liegt, wie der obere hier auf der oberen sichtbar ist. Sie entspringen ebenfalls vom Umfange des *Foramen opticum* und heften sich an die obere und untere Seite des Augapfels. Sie drehen ihn um eine horizontale Axe, welche von der Nasenseite und etwas nach vorn herübergeht nach der Schläfenseite und etwas nach hinten, und in *Fig. 30* mit *D D* bezeichnet ist. Diese Axe bildet einen Winkel von etwa 70° mit der Axe des Auges *A*.

5) Der obere schiefe Muskel *t* entspringt vom Rande des *Foramen opticum*, läuft an der inneren oberen Seite der Augenhöhle nach vorn, seine Sehne geht durch eine kleine Schleife *u* (*trochlea*), die am oberen vorderen Rande der Augenhöhle befestigt ist, biegt hier um und heftet sich an die obere Seite des Augapfels, bei *C*. Der Muskel übt einen Zug in Richtung seiner Sehne aus.

6) Der untere schiefe Muskel, in der Figur nicht sichtbar, entspringt vom inneren vorderen Umfange der Augenhöhle, läuft unter dem Augapfel nach der Schläfenseite herüber und befestigt sich am äufseren hinteren Umfange des Augapfels. Die Drehungsaxe *B B* für die schiefen Augenmuskeln läuft ebenfalls horizontal von aufsen und vorn nach innen und hinten, und macht mit der Drehungsaxe des oberen und unteren geraden Muskels einen Winkel von etwa 75°, mit der Axe des Auges einen von 35°.

Durch verschiedenartig combinirte Wirkung dieser sechs Muskeln kann
die Augenaxe nach jeder beliebigen Richtung gewendet, und auch der Aug- 29
apfel um die Augenaxe gedreht werden. Wenn wir hier für je zwei Muskeln eines Paares eine gemeinschaftliche Drehungsaxe angenommen haben, so scheint diese Annahme wenigstens vorläufig als erste Annäherung erlaubt zu sein, da sie die Uebersicht der Bewegungen, welche die Augenmuskeln auszuführen haben, sehr vereinfacht.

Nach vorn ist der Augapfel geschützt durch zwei Deckplatten, die Augenlider (*Palpebrae*). Jedes von ihnen schliefst ein Knorpelblättchen ein, welches auf der äufseren Seite von der äufseren Haut überzogen ist, auf der inneren von einer Schleimhaut, die von dort auf den Augapfel übergeht, Bindehaut des Auges (*Conjunctiva*). Sie ist an die weifse Sehnenhaut des Augapfels locker angeheftet, nur am Rande der Hornhaut verschmilzt sie fest mit ihr. Die Oberfläche der Bindehaut und die vordere Fläche der Hornhaut werden von drei verschiedenen Secreten fortdauernd befeuchtet. Diese sind 1) das Secret der Meibom'schen Drüsen, welche an

der inneren Fläche der Augenlider unter der Bindehaut liegen. Ihre Ausführungsgänge öffnen sich längs der hinteren Kante der Augenlidränder. Dieses fettige Secret haftet meistens wohl nur an den Rändern der Lider, und verhindert das Ueberfliefsen der wässrigen Thränen; es kann sich aber auch in öligen Tropfen über die Hornhaut verbreiten, namentlich bei starken Bewegungen der Lider. 2) Der Schleim der Schleimdrüschen der Bindehaut, welche am zahlreichsten am Rande der Falten zwischen den Lidern und dem Augapfel sich vorfinden. 3) Die Thränenflüssigkeit, abgesondert von den Thränendrüsen, von denen je zwei auf jeder Seite im oberen äufseren Theile der Augenhöhle liegen. Sie ergiessen ihr wäfsriges Secret, welches nur etwa 1 Proc. feste Substanzen enthält, durch 7 bis 10 feine Ausführungsgänge oberhalb des äufseren Augenwinkels zwischen das obere Lid und den Augapfel. Von hier verbreitet es sich über die ganze Conjunctiva, und wird am inneren Augenwinkel durch zwei feine Öffnungen, die Thränenpunkte, aufgenommen, die Mündungen der beiden Thränenkanälchen, welche es in einen weiteren Kanal, *Ductus nasolacrymalis*, und endlich in die Nase führen.

Die Bindehaut des Auges ist aufserordentlich empfindlich. Jede leiseste Berührung eines fremden Körpers erregt Schmerz und eine unwillkürliche Bewegung der Augenlider, das Blinzeln. Dadurch und durch die fortdauernd über die Bindehaut hinsickernde Thränenfeuchtigkeit wird die vordere Fläche der Hornhaut stets rein und glänzend erhalten, was ein nothwendiges Erfordernifs für deutliches Sehen ist. Gröfsere in der Luft schwebende Staubtheilchen, Insecten u. s. w. werden aufserdem durch die Wimpern abgefangen.

Physiologische Optik.

---

§ 8. Eintheilung des Gegenstandes.

Die physiologische Optik ist die Lehre von den Wahrnehmungen 30
durch den Gesichtssinn. Wir sehen die Objecte der Aufsenwelt durch Vermittelung des Lichts, welches von ihnen her in unser Auge fällt. Dies Licht trifft die Netzhaut, einen empfindungsfähigen Theil unseres Nervensystems, und regt in ihr Empfindungen an. Die Empfindungen, durch den Sehnerven dem Gehirne zugeleitet, werden die Veranlassung, dafs unser Bewufstsein die Vorstellung von gewissen im Raume vertheilten Gegenständen bildet.

Demgemäfs zerfällt die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen in drei Abschnitte:

1) Die Lehre von den Wegen des Lichts im Auge. Da wir darin hauptsächlich mit Brechungen der Lichtstrahlen und nur ausnahmsweise mit spiegelnder oder diffuser Reflexion zu thun haben, können wir diesen Theil auch die Dioptrik des Auges nennen.

2) Die Lehre von den Empfindungen des Sehnervenapparats, in welcher die Empfindungen behandelt werden, ohne Bezug zu nehmen auf die Möglichkeit, äufsere Objekte durch sie zu erkennen.

3) Die Lehre von dem Verständnisse der Gesichtsempfindungen oder die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen, welche von den Vorstellungen handelt, die wir auf Grund der Gesichtsempfindungen über die Objecte der Aufsenwelt uns bilden.

Die physiologische Optik unterscheidet sich also von der physikalischen Optik dadurch, dafs erstere die Eigenschaften und Gesetze des Lichts nur in so fern behandelt, als sie zu den Gesichtswahrnehmungen in Beziehung stehen, während die physikalische Optik die Eigenschaften und Gesetze des Lichts untersucht, welche ihm unabhängig vom menschlichen Auge zukommen. Wenn die letztere auf das Auge Rücksicht nimmt, so benutzt sie es nur als experimentelles Hülfsmittel, als das bequemste Reagens, um das Dasein und die Verbreitung des Lichts zu erkennen und Licht verschiedener Art zu unterscheiden.

Für diejenigen meiner Leser, welchen die Resultate der physikalischen Optik nicht vollständig geläufig sind, schalte ich hier einen kurzen Abrifs der wesentlichen Eigenthümlichkeiten des Lichts ein, welche für die physiologische Optik von Wichtigkeit sind, und gebe die Definitionen der physikalischen Begriffe, mit denen wir in der Folge zu thun haben werden.

Das Licht wird von der Mehrzahl der Physiker als eine eigenthümliche Bewegungsform eines hypothetischen Mediums, des Lichtäthers, angesehen, und wir wollen uns dieser Ansicht, der Undulationstheorie, die sehr vollständig von allen Erscheinungen Rechenschaft giebt, anschliefsen.

Die Art der Bewegung der Aethertheilchen längs eines Lichtstrahls, welche die Undulationstheorie ihren Folgerungen zu Grunde legt, versinnlicht man sich am leichtesten, wenn man einen nassen Faden oder eine feine Kette *A B*
31 *Fig. 31*, indem man sie am oberen Ende bei *A* mit der Hand fafst, senkrecht herabhängen läfst, und nun die Hand seitlich hin und her bewegt. Der Faden biegt sich dann zu einer Wellenlinie, wie sie durch die gestrichelte Linie der Figur angedeutet ist, welche Wellenlinie fortdauernd vom oberen zum unteren Ende herabläuft. Bei den Wellen, die sich längs des Fadens von oben nach unten fortpflanzen, bleibt jedes einzelne Theilchen des Fadens immer in gleicher Höhe über dem Boden, wobei es entweder in geraden Linien von rechts nach links, oder von vorn nach hinten hin und her schwanken, oder auch in horizontalen, kreisförmigen oder elliptischen Bahnen um seine mittlere Gleichgewichtslage sich bewegen kann, je nachdem sich die Hand, welche den Faden hält, von rechts nach links, oder von vorn nach hinten, oder in geschlossenen krummen Linien bewegt.

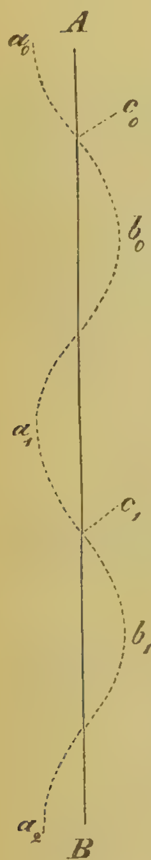


Fig. 31.

Ganz ähnlich der Bewegung der einzelnen Theile des Fadens würde die Bewegung einer Reihe von Äthertheilchen sein, längs welcher sich ein Lichtstrahl fortpflanzt. Jedes einzelne Theilchen des Äthers bleibt fortdauernd in der Nähe seiner ursprünglichen Ruhelage, und bewegt sich in geraden oder gekrümmten Bahnen um diese. Was sich als Licht fortbewegt, sind nicht die Äthertheilchen selbst, sondern nur die Wellenform, in welche sie sich während ihrer Bewegung ordnen, mit ihren verschiedenen Abwechselungen (Phasen) von Ausweichung und Geschwindigkeit.

Die Bahnen der Äthertheilchen bei der Lichtbewegung liegen in Ebenen, welche senkrecht gegen die Fortpflanzungsrichtung der Wellen sind, ganz wie bei unserem Faden, wo die Wellen in verticaler Richtung nach dem Boden hin laufen, und jeder einzelne Theil des schwingenden Fadens stets in gleicher Höhe über dem Boden eine horizontale Bahn beschreibt. Dadurch unterscheiden sich die Lichtwellen von den Wellen elastischer Flüssigkeiten, z. B. von der Schallbewegung der Luft, bei welcher die Theilchen parallel der Fortpflanzungsrichtung oscilliren.

Wenn die Bahn der schwingenden Äthertheilchen in einem Lichtwellenzuge geradlinig ist, nennt man das Licht geradlinig polarisirt; wenn die Bahn kreisförmig oder elliptisch ist, nennt man das Licht dagegen kreisförmig oder elliptisch polarisirt, wobei die Drehung rechts oder links herum geschehen kann. Zwei geradlinig polarisirte Strahlen, deren Schwingungsrichtungen auf einander senkrecht stehen, nennt man senkrecht gegen einander polarisirt.

Das natürliche Licht, wie es von leuchtenden Körpern ausgeht, verhält sich meist wie eine gleichmäfsige Mischung von allen Arten verschieden polarisirten Lichts; man nennt solches unpolarisirt. Erst durch die Brechung und Spiegelung des Lichts erhält man Licht, in welchem eine Art der Polarisation überwiegt, oder allein vorkommt.

Wenn jedes Äthertheilchen bei der Lichtbewegung immer genau in derselben Zeit denselben Weg mit derselben Geschwindigkeit wiederholt durchläuft, nennt man das Licht einfach, einfarbig oder homogen, und die Zeit, in der es seinen Weg einmal zurücklegt, heifst die Schwingungsdauer. Die auffallendste Eigenthümlichkeit, durch welche sich Licht verschiedener Schwingungsdauer von einander unterscheidet, ist die Farbe. Das natürliche Licht der leuchtenden Körper ist meistens nicht einfaches Licht von constanter Schwingungsdauer, sondern enthält Wellenzüge von einer unendlichen Menge continuirlich in einander übergehender Werthe der Schwingungsdauer. Man nennt solches Licht gemischtes oder zusammengesetztes Licht. Das weifse Licht der Sonne ist gemischtes Licht. Einfaches Licht kann man am besten durch Brechung in durchsichtigen Prismen aus dem gemischten ausscheiden, indem nach der Brechung die Wellenzüge verschiedener 32
Schwingungsdauer in verschiedenen Richtungen sich fortpflanzen. Wir können also die Bewegung in einem Strahle natürlichen Lichts vergleichen mit der Bewegung, welche unser Faden annehmen würde, wenn die Hand, welche ihn hält, unregelmäfsige Bewegungen sowohl der Dauer als der Richtung nach ausführt, bei denen sie sich aber nie weit von ihrer mittleren Lage entfernt.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwellen ist aufserordentlich grofs. Für den Weltenraum ist sie durch astronomische Beobachtungen bestimmt worden, und beträgt hier etwa 300 000 Kilometer in der Secunde. In durchsichtigen Körpern ist sie geringer, und nicht ganz gleich für Licht verschiedener Schwingungsdauer.

In krystallisirten Körpern, oder solchen, deren moleculärer Bau nach verschiedenen Richtungen hin verschieden ist, (doppeltbrechenden Körpern), ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit auch für verschiedene Richtungen der Fortpflanzung und der Polarisation verschieden.

Wenn längs der Linie AB *Fig. 31* ein einfacher, geradlinig polarisirter Lichtstrahl sich fortpflanzt, so ordnen sich die Äthertheilchen, welche anfangs in der geraden Linie AB lagen, in eine Wellenlinie $a_0\, b_0\, a_1\, b_1\, a_2$, welche sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortschiebt, und wechselnde Ausbiegungen nach rechts und nach links von gleicher Länge zeigt. Die Länge von zwei solchen Ausbiegungen, $c_0\, c_1$, oder überhaupt die Entfernung je zweier entsprechender Punkte auf zwei nächst auf einander folgenden, nach gleicher Richtung hin gebogenen Theilen der Wellenlinie nennt man die Wellenlänge. Während nun der Gipfel des Wellenbergs von a_0 bis a_1 sich fortschiebt, mufs bei A ein neuer Gipfel der Linie angekommen sein, und das Äthertheilchen bei A mufs eine ganze Schwingungsdauer vollendet haben. Während der Zeit einer Schwingungsdauer pflanzt sich also das Licht um eine Wellenlänge fort, d. h. die Wellenlänge ist gleich der Schwingungsdauer, multiplicirt mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Daraus folgt, dafs bei Licht von gleicher Schwingungsdauer in durchsichtigen Mitteln verschiedener Art die Wellenlänge der Fortpflanzungsgeschwindigkeit proportional sein mufs, und dafs die Wellenlängen in dichteren durchsichtigen Medien im Allgemeinen kleiner sind als im leeren Raume.

Die Wellenlängen kann man mit Hülfe der Phänomene der Interferenz messen und daraus die Schwingungsdauer des betreffenden Lichts berechnen. Die Phänomene der Interferenz beruhen darauf, daſs zwei Lichtstrahlen sich gegenseitig verstärken, wenn sie gleichgerichtete Ätherbewegungen, sich aber aufheben, wenn sie entgegengesetzt gerichtete hervorbringen. Zwei Theile eines Lichtstrahls, welche nach Zurücklegung verschiedener Wege sich wieder vereinigen, verstärken sich also, wenn ihr Weg gar nicht, oder um ein, zwei, mehrere ganze Wellenlängen unterschieden sind, und sie heben sich auf, wenn die Wege um eine ungerade Zahl halber Wegelängen unterschieden sind. Aus solchen Phänomenen der Interferenz hat man nun gefunden, daſs die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes im leeren Raume 0,00039 bis 0,00069 mm betragen, und daraus für die Zahl der Schwingungen in der Secunde 435 bis 770 Billionen gefunden. Physikalisch ist es möglich die Existenz von Aetherwellen nachzuweisen, die auſserhalb dieser Grenzen liegen, aber nicht oder kaum sichtbar sind.

Die Erschütterungen, welche ein leuchtender Punkt in einem einfach brechenden Mittel dem umgebenden Äther mittheilt, pflanzen sich von ihm aus gleichmäſsig und mit gleicher Geschwindigkeit nach allen Richtungen fort. Dadurch entsteht eine kugelförmige Ausbreitung der Welle, wobei die Excursionen der schwingenden Äthertheilchen in dem Verhältnisse abnehmen, wie der Radius der Welle wächst. Die Intensität des Lichts aber, welche dem Quadrate der Excursionen proportional zu
33 setzen ist, verhält sich demnach in verschiedenen Entfernungen umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung vom leuchtenden Punkte. Bei einer solchen räumlichen Ausbreitung der Lichtbewegung nennt man eine Fläche, in der Äthertheilchen liegen, die alle in derselben Phase der Schwingung begriffen sind, eine W e l l e n f l ä c h e.

Ich habe noch den Begriff des L i c h t s t r a h l s zu erörtern. Seine mathematische Definition ist die, daſs er eine auf den Wellenflächen senkrechte Linie sei; haben wir also mit kugelig sich verbreitenden Wellen zu thun, so ist er ein Radius der concentrischen Kugelflächen, und behält seine Richtung so lange bei, als die Lichtbewegung in demselben durchsichtigen Medium ungestört fortschreitet. Wenn wir nun die Bewegung der längs eines Strahls gelegenen Äthertheilchen betrachten, so ist dieselbe streng genommen allerdings nicht unabhängig von der Bewegung der Theilchen benachbarter Strahlen. Indessen haben Störungen in diesen benachbarten Bewegungen durch dunkle Körper u. s. w. unter den gewöhnlich stattfindenden Bedingungen, mit denen wir es auch namentlich im Auge allein zu thun haben, keinen beträchtlichen Einfluſs auf die Bewegungen der Theile des ersten Strahls. Wir können also in solchen Fällen die Bewegung der Äthertheilchen innerhalb eines Strahls annähernd als ein abgeschlossenes mechanisches Ganze ansehen, welches unabhängig von den Bewegungen der benachbarten Strahlen von Statten geht. Dadurch wird die theoretische Untersuchung der Lichtbewegungen auſserordentlich vereinfacht und erleichtert. So sind wir denn auch im täglichen Leben gewöhnt vorauszusetzen, daſs jeder Lichtstrahl geradlinig fortschreite, ungehindert durch das, was seitlich von ihm geschieht; und in der That sind die Abweichungen von dieser Regel in den gewöhnlich vorkommenden Fällen ganz unmerklich. Diese Auflösung der kugelförmigen Ausbreitung der Lichtwellen in linear sich fortpflanzende Strahlen ist aber namentlich dann nicht erlaubt, wenn das Licht durch so kleine Öffnungen hindurch geht, daſs die Wellenlängen des Lichts nicht mehr verschwindend klein gegen deren Dimensionen sind. Dann breiten sich sehr merkliche Quantitäten des Lichts seitlich aus. Überhaupt sind

Ablenkungen kleiner Theile des Lichts von dem geraden Wege (Diffraction) überall da zu bemerken, wo Licht an dem Rande undurchsichtiger Körper vorbeigeht. In solchen Fällen muſs man auf die Bewegung der ganzen Lichtwellen zurückgehen, um die Phänomene zu erklären. Für die Physik des Auges können wir dagegen die Bewegung des Lichts unbedenklich als geradlinig betrachten, so lange es in einem homogenen Medium sich fortpflanzt.

Licht und Schall unterscheiden sich in dieser Beziehung sehr auffallend, wenn auch eigentlich nur relativ, von einander. Die Dimensionen der uns umgebenden Körper sind meist so groſs, daſs die Lichtwellenlängen dagegen als verschwindend klein zu betrachten sind; deshalb bewegt sich die bei weitem gröſste Menge des Lichts nur geradlinig fort, und es erfordert die Herstellung besonderer Apparate, um die seitliche Ausbreitung kleinerer Theile desselben wahrzunehmen. Die Schallwellen sind dagegen mehrere Zoll oder Fuſs lang, und zeigen deshalb, wenn sie zwischen festen Körpern hindurchgehen, meist eine sehr bedeutende Seitenausbreitung. Wir wissen deshalb aus den alltäglichen Wahrnehmungen, daſs wir nur in gerader Linie sehen, aber um Ecken herum hören können. Eben deshalb dürfen wir aber auch die Schallbewegung nicht in Schallstrahlen auflösen wollen, wir würden uns dadurch zu weit von den wirklichen Verhältnissen entfernen, und dasselbe ist der Grund, daſs die Lehre von der Verbreitung des Schalls bis jetzt noch so wenig ausgebildet werden konnte, im Vergleich zu der des Lichts. Demselben Umstande verdankt unser Auge die Möglichkeit, aus der Richtung der einfallenden Lichtstrahlen sehr genau auf den Ort des leuchtenden Körpers schlieſsen zu können, was beim Schall nur höchst unvollkommen möglich ist. Anderseits wird auch das Auge durch jeden in den Weg tretenden dunklen Körper verhindert, zu sehen, was hinter ihm vorgeht, während das Ohr sehr wohl Töne vernehmen kann, die hinter ihm erregt werden. So hängen mit der seitlichen Ausbreitung der Wellenzüge eigenthümliche Vortheile und Nachtheile beider Sinne zusammen.

Wenn Licht auf die Grenzfläche zweier verschiedenartiger durchsichtiger Mittel *34*
fällt, wird in der Regel ein Theil zurückgeworfen (reflectirt), und bleibt in dem Mittel, in welchem er war; ein anderer Theil geht in das andere Medium über, wird dabei aber in der Regel von seiner bisherigen Richtung abgelenkt, d. h. gebrochen (refrangirt). Ist die Trennungsfläche glatt (polirt), sind beide Mittel einfach brechend, so wird ein auffallender Lichtstrahl nur nach einer Richtung hin zurückgeworfen (spiegelnde Reflexion), und nur nach einer Richtung hin gebrochen. Ist die Trennungsfläche rauh, so wird das Licht, auch wenn es nur aus einer Richtung herkommt, nach vielen oder allen Richtungen zurückgeworfen und gebrochen, es wird zerstreut (diffuse Reflexion und Refraction).

Während das Licht in einem körperlichen Mittel sich fortbewegt, kann es entweder ungeschwächt bleiben, so weit es auch gehen mag; dann nennen wir das Mittel durchsichtig. Absolut durchsichtige Mittel giebt es vielleicht nicht auſser dem leeren Raume. Oder es kann das Licht allmählich geschwächt werden, und zwar auf zweierlei Weise. Entweder nämlich wird es von kleinen fremden Körpern, Sprüngen, Stellen mit geändertem Gefüge u. s. w. diffus zurückgeworfen und gebrochen (falsche innere Dispersion), dabei erscheint das Mittel trübe, und in seinem Inneren selbst erleuchtet. Oder das Licht verschwindet, ohne von seinem Wege abgelenkt zu werden (Absorption). Da die Absorption meistentheils die Strahlen von verschiedener Schwingungsdauer verschieden schnell verschwinden macht, so wird weiſses Licht, wenn es durch absorbirende Mittel geht, meistens

farbig, und das Mittel selbst erscheint gefärbt. Farblose durchsichtige Mittel sind solche, welche alle leuchtenden Strahlen ungeschwächt durchgehen lassen. Dieselben können dabei aber nichtleuchtende Strahlen absorbiren, z. B. Wärmestrahlen oder die brechbarsten Strahlen des Sonnenlichts, sich gegen solche also noch wie gefärbte Mittel gegen die leuchtenden Strahlen verhalten.

Bei der Absorption der Lichtstrahlen entstehen oft chemische Wirkungen; zuweilen wieder Licht, und wahrscheinlich immer Wärme. Wenn wieder Licht entsteht, so sendet jeder Theil des beleuchteten Mittels Licht nach allen Seiten aus, welches sich aber in der Farbe und Zusammensetzung von dem absorbirten Lichte unterscheidet; die Substanz wird selbstleuchtend. Man nennt dieses Selbstleuchten Phosphorescenz, wenn es länger dauert als die Bestrahlung, dagegen Fluorescenz oder wahre innere Dispersion, wenn es nur so lange dauert als die Bestrahlung. Bei der Fluorescenz ist das von der Substanz entwickelte Licht meist von gröfserer Schwingungsdauer als das einstrahlende, seine Farbe und Zusammensetzung meist unabhängig von der des letzteren, es findet also eine Verlängerung der Schwingungsdauer (Verringerung der Brechbarkeit) statt, und es wird dadurch möglich, das wegen seiner zu geringen Schwingungsdauer nicht sichtbare oder kaum sichtbare Licht dem Auge sichtbar zu machen, indem man es auf eine fluorescirende Substanz (saures schwefelsäures Chinin, Uranglas, Aufgufs von Rofskastanienrinde, Bernstein u. s. w.) fallen läfst, wobei es durch Fluorescenz Licht gröfserer Schwingungsdauer erzeugt.

Erster Abschnitt.

Die Dioptrik des Auges.

§ 9. Gesetze der Brechung in Systemen kugeliger Flächen.

Der Gang der Lichtstrahlen im menschlichen Auge wird hauptsächlich 35
durch Brechung verändert. Es ist aber nicht blofs eine einzelne brechende Fläche vorhanden, sondern eine Reihe von solchen. Ich werde also die allgemeinen Gesetze der Lichtbrechung in einfach brechenden Mitteln und namentlich auch der Brechung in einer Reihe von gekrümmten Flächen, welche die Grundlage des vorliegenden Abschnitts bilden, vorausschicken.

An einer einzelnen brechenden Fläche ist die Lage des zurückgeworfenen und gebrochenen Strahls in folgender Weise bestimmt. In *Fig. 32* sei *a b* die Grenzfläche beider Medien, welche man die brechende Fläche nennt; *f c* sei einer der darauf fallenden Lichtstrahlen, *d e* die im Punkte *c* auf *a b* senkrecht stehende Linie, welche man das Einfallsloth nennt, *c h* der zurückgeworfene und *c g* der gebrochene Strahl. Die Ebene, welche durch das Einfallsloth und den einfallenden Strahl zu legen ist, nennt man Einfallsebene, den Winkel zwischen dem einfallenden Strahle und dem Einfallslothe den Einfallswinkel (in der Figur ist es der Winkel *d c f*, mit α bezeichnet), den Winkel zwischen

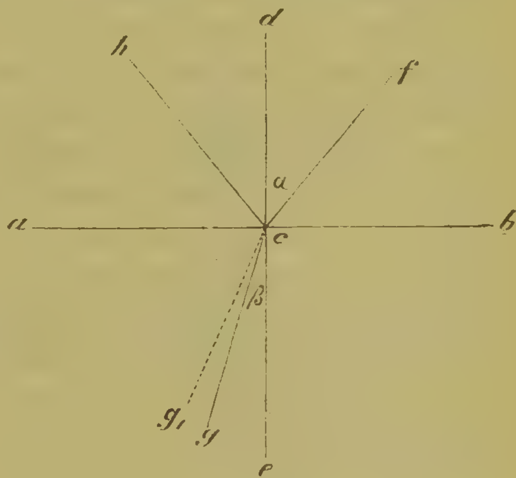


Fig. 32.

dem Einfallslothe und dem zurückgeworfenen Strahle den Reflexionswinkel 36
(in der Figur *h c d*) und denjenigen zwischen dem Einfallslothe und dem gebrochenen Strahle (*g c e* oder β) den Brechungswinkel. Bei einfach brechenden Medien ist dann die Lage des zurückgeworfenen und gebrochenen Strahls dadurch gegeben, dafs erstens beide in der Einfallsebene liegen, und dafs zweitens der Reflexionswinkel gleich dem Einfallswinkel ist, der Brechungswinkel aber von dem Einfallswinkel in der Weise abhängt, dafs ihre Sinus

sich verhalten wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichts in den betreffenden beiden Medien. Das Verhältnifs der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts im Vacuum zu der in einem gegebenen Mittel nennt man das *Brechungsverhältnifs*, *Brechungsvermögen* oder den *Brechungscoefficienten* dieses Mittels. Ist also c die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Vacuum, c_1 in dem ersten, c_2 in dem zweiten Mittel, n_1 das Brechungsverhältnifs des ersten, n_2 das des zweiten Mittels, so ist

$$n_1 = \frac{c}{c_1}$$

$$n_2 = \frac{c}{c_2}$$

$$\frac{\sin\alpha}{c_1} = \frac{\sin\beta}{c_2} \quad \text{oder}$$

$$n_1 \,.\, \sin\alpha = n_2 \,.\, \sin\beta.$$

In der letzteren Form pflegt man gewöhnlich das Brechungsgesetz auszusprechen. Für das Vacuum ist das Brechungsverhältnifs nach der gegebenen Definition = 1, für die Luft bei gewöhnlichem Drucke so wenig davon unterschieden (nämlich 1,00029 bei 0° und 760 mm Druck), dafs man in den meisten Fällen den Unterschied vernachlässigen kann. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der verschiedenen einfachen farbigen Strahlen sind im Vacuum nicht, in den Gasarten sehr wenig, in den durchsichtigen tropfbaren und festen Körpern mehr von einander verschieden. In den letzteren pflanzen sich die Strahlen von kleinerer Schwingungsdauer (die blauen und violetten) der Regel nach langsamer fort als die von längerer Schwingungsdauer (gelbe und rothe), es sind also auch die Brechungsverhältnisse für die ersteren gröfser als für die zweiten, und man bezeichnet deshalb jene (die violetten) als die *brechbareren* Strahlen, letztere (die rothen) als die *weniger brechbaren*. Wegen dieser Verschiedenheit der Brechbarkeit schlagen denn auch die verschiedenen farbigen Theile des weifsen Lichts nach einer Brechung in tropfbaren oder festen Körpern im Allgemeinen verschiedene Wege ein, und es giebt dies ein Mittel ab, sie zu trennen. In der *Fig. 32* ist vorausgesetzt, dafs oberhalb der brechenden Fläche sich ein dünneres, unterhalb derselben ein dichteres Medium befinde. Kommt das Licht aus dem ersteren von f her, so wird der gebrochene Strahl cg dem Einfallslothe ce genähert werden. Für die violetten Strahlen ist die Ablenkung stärker als für die rothen. Wenn also die violetten etwa den Weg cg einschlagen, geht das rothe Licht des Strahls fc in der Richtung cg_1 fort, und trennt sich somit von den brechbareren Farben.

Im Auge haben wir es mit der Brechung des Lichts an kugeligen oder
37 nahehin kugeligen Flächen zu thun. Die Gesetze der Brechung vereinfachen sich für eine jede solche Fläche aufserordentlich, wenn das Licht nur unter sehr kleinen Einfallswinkeln, d. h. nahe senkrecht auf sie fällt. Sie vereinfachen sich auch für ein System solcher Flächen, wenn die Mittelpunkte

der Kugelflächen alle in einer geraden Linie, der Axe des Systems, liegen. Systeme von kugeligen Flächen, in denen diese letzte Bedingung erfüllt ist, nennt man centrirt. Licht, welches ursprünglich von einem Punkte ausgegangen ist, oder allgemeiner, Licht, dessen Strahlen hinreichend verlängert alle durch einen Punkt gehen, d. h. homocentrisches Licht, wird, nachdem es durch ein solches System gegangen ist, und alle brechenden Flächen nur unter kleinen Einfallswinkeln getroffen hat, entweder wirklich sich in einen Punkt wieder vereinigen, oder doch so fortgehen, als käme es alles von einem leuchtenden Punkte her, also wieder homocentrisch sein. Den Convergenzpunkt der Lichtstrahlen nennt man in beiden Fällen das optische Bild des ursprünglich leuchtenden Punktes, oder da Lichtstrahlen, welche von dem Orte des Bildes rückwärts gingen, an der Stelle des ursprünglich leuchtenden Punktes wieder vereinigt werden würden, nennt man den Ort des leuchtenden Punktes und den seines Bildes auch conjugirte Vereinigungspunkte der Strahlen. Man nennt ferner das optische Bild reell, wenn die Lichtstrahlen, welche von dem leuchtenden Punkte ausgegangen sind, in ihm wirklich zur Vereinigung kommen. Dies kann nur geschehen, wenn das Bild hinter den brechenden Flächen liegt. Man nennt es virtuell, wenn der Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen in ihren rückwärts gezogenen Verlängerungen vor der letzten brechenden Fläche liegt. Im letzteren Falle schneiden sich also nicht die Lichtstrahlen selbst, sondern nur ihre Verlängerungen.

Convexe Glaslinsen (Brenngläser oder Sammellinsen) geben von entfernten Gegenständen reelle Bilder, wie *Fig. 33* zeigt; *c d* ist die Linse, *a* der leuchtende Punkt, die einfallenden Lichtstrahlen *a c* und *a d* werden in die Richtungen *c f* und *d e* gebrochen, vereinigen sich wirklich in dem Punkte *b*, dem Punkte des reellen Bildes, und gehen nach der Schneidung wieder divergirend auseinander, gerade als wäre *b* ein ursprünglich leuchtender Punkt.

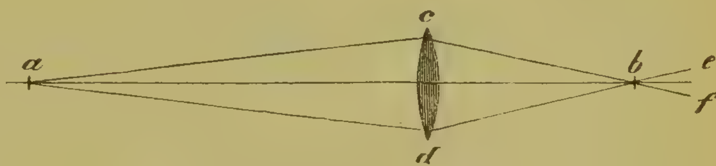


Fig. 33.

Concave Glaslinsen (Zerstreuungsgläser) geben virtuelle Bilder wie in *Fig. 34*, wo die Bezeichnungen dieselben sind wie in *Fig. 33*. Hier schneiden sich die Lichtstrahlen nicht wirklich, wohl aber ihre Verlängerungen in *b*, und gehen hinter der Linse weiter, als kämen sie von *b*, so dafs ein hinter der Linse zwischen *f* und *e* stehendes Auge glauben würde, den leuchtenden Punkt in *b* zu sehen.

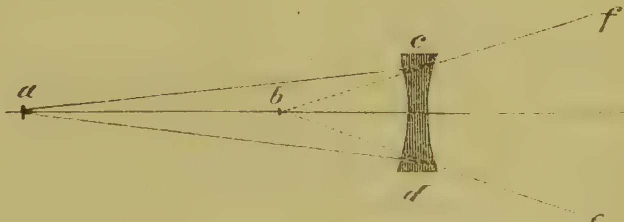


Fig. 34.

38 Wenn mehrere leuchtende Punkte in einer gegen die Axe des brechenden Systems senkrechten Fläche liegen, und der Axe nahe genug sind, dafs ihre Strahlen auf sämmtliche brechende Kugelflächen unter sehr kleinen Einfallswinkeln treffen, so liegen ihre reellen oder virtuellen Bilder auch alle in einer auf die optische Axe senkrechten Ebene, und ihre Vertheilung in dieser Ebene ist geometrisch ähnlich der Vertheilung der leuchtenden Punkte, und gehören die leuchtenden Punkte einem Objecte an, so ist das optische Bild dieses Objects ihm selbst geometrisch ähnlich.

Ein Beispiel reeller Bilder von Objecten, welches zugleich den Verhältnissen des Auges sehr nahe entspricht, giebt unter den physikalischen Instrumenten die *Camera obscura.* Ein innen geschwärzter Kasten A enthält in seiner vorderen Wand eine verschiebbare Röhre, in welche eine oder mehrere Glaslinsen l eingesetzt sind. Die Rückseite des Kastens g besteht aus einer matten Glastafel. Wenn man die Gläser l gegen entfernte erleuchtete Objecte wendet, und die matte Tafel g beschattet, so sieht man auf ihr ein umgekehrtes, natürlich gefärbtes Bild der Objecte entworfen, welches auch bei einer richtigen Stellung der Linsen l sehr scharf gezeichnet erscheint. Die Linsen müssen zu dem Ende so gewählt und gestellt sein, dafs die Strahlen, welche von einem jeden einzelnen Punkte des abgebildeten Gegenstandes ausgegangen sind, sich in einem Punkte der mattgeschliffenen Glasfläche wieder vereinigen. Dann empfängt dieser Punkt der Glasfläche alles Licht, welches von dem entsprechenden Punkte des abgebildeten Gegenstandes her in das Instrument gefallen ist, und wird von ihm in derselben Farbe und entsprechender Helligkeit erleuchtet, wie sie dem Punkte des Objects zukommen. Dagegen fällt auf diese Stelle der Glastafel kein Licht, welches von irgend einem anderen Punkte des Gegenstandes ausgegangen wäre, weil solches Licht eben in anderen Punkten der Tafel sich vereinigt.

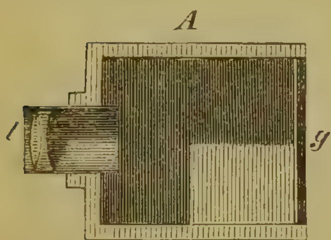


Fig. 35.

Bei diesen Beobachtungen bemerkt man zunächst, dafs die Bilder ungleich von dem Instrumente entfernter Gegenstände nicht gleichzeitig deutlich auf der matten Tafel entworfen werden, dafs man vielmehr die Röhre mit den Linsen etwas herausziehen mufs, um nähere Gegenstände abzubilden, für entferntere dagegen mehr hineinschieben. Der Grund davon ist der, dafs die Bilder ungleich entfernter Punkte auch selbst verschiedene Entfernung von den Linsen haben, also nicht gleichzeitig genau in der Ebene der matten Glastafel liegen können.

Man bemerkt ferner, wenn das Instrument nur eine einfache Linse enthält, und diese einen grofsen Durchmesser im Verhältnifs zur Länge des Kastens hat, dafs die Ränder heller Flächen in dem Bilde farbige, meist blaue oder gelbrothe Säume zeigen. Wegen der verschiedenen Brechbarkeit des verschiedenfarbigen Lichts liegen die Vereinigungspunkte verschiedenfarbiger Strahlen nicht genau in derselben Entfernung hinter der Linse, und

die Bilder für die verschiedenen Farben decken sich nicht genau. Man nennt dies die chromatische Abweichung. Sie kann fast vollständig aufgehoben werden durch eine passende Verbindung von Linsen, die aus verschiedenem Stoffe bestehen. Dergleichen optische Instrumente, in welchen so die chromatische Abweichung beseitigt ist, nennt man achromatisch.

Aber auch bei der Beleuchtung mit einfarbigem Lichte zeigen die Bilder der *Camera obscura* und anderer optischer Instrumente mit brechenden Kugelflächen bei grofsen Öffnungen der Linsen eine gewisse Ungenauigkeit der Umrisse, welche daher entsteht, dafs die durch eine kugelige Fläche gebrochenen Strahlen des abgebildeten Punktes zwar nahehin, aber doch nicht absolut genau in einen Punkt wieder vereinigt werden. Nur bei verschwindend kleinen Einfallswinkeln werden sie genau vereinigt. Diese zweite Art der Abweichung nennt man die sphärische oder die Abweichung wegen der Kugelgestalt. Instrumente, in denen sie durch passende Zusammenstellung der brechenden Flächen möglichst verringert ist, nennt man aplanatisch. Vollständige Aplanasie ist durch Kugelflächen im allgemeinen nicht zu erreichen, sondern dazu würde man andere gekrümmte Flächen und zwar Rotationsflächen des zweiten oder vierten Grades anwenden müssen, welche aber an optischen Instrumenten bisher noch nicht praktisch ausgeführt werden können.

Die Lage und Gröfse der optischen Bilder, welche centrirte Systeme von kugeligen brechenden Flächen entwerfen, sowie auch der Gang eines jeden durch sie hindurchgegangenen Lichtstrahls, der sämmtliche brechende Flächen unter sehr kleinen Einfallswinkeln passirt hat, ist nach verhältnifsmäfsig einfachen Regeln zu bestimmen, wenn man gewisse Punkte, die optischen Cardinalpunkte des Systems kennt. Es giebt drei Paare von solchen Punkten, nämlich die beiden Brennpunkte, die beiden Hauptpunkte und die beiden Knotenpunkte.

Man nenne die Seite des Systems, von der das Licht herkommt, die erste, die, nach der es hingeht, die zweite Seite, das Brechungsverhältnifs des ersten Mittels sei n_1, das des letzten n_2.

Der erste Brennpunkt ist dadurch bestimmt, dafs jeder Strahl, der vor der Brechung durch ihn geht, nach der Brechung parallel mit der Axe wird.

Der zweite Brennpunkt ist dadurch bestimmt, dafs durch ihn jeder Strahl geht, der vor der Brechung parallel der Axe ist.

Der zweite Hauptpunkt ist das Bild des ersten, d. h. Strahlen, welche im ersten Mittel nach dem ersten Hauptpunkt hin gerichtet sind, gehen nach der letzten Brechung durch den zweiten. Ebenen, senkrecht zur Axe durch die Hauptpunkte gelegt, heifsen Hauptebenen. Die zweite Hauptebene ist das optische Bild der ersten, und zwar sind es die einzigen zusammengehörigen Bilder, welche gleich grofs und gleich gerichtet sind. Durch diese Bedingung ist die Lage der Hauptpunkte bestimmt.

Der zweite Knotenpunkt ist das Bild des ersten. Ein Strahl, der im ersten Medium nach dem ersten Knotenpunkte gerichtet ist, geht nach

der Brechung durch den zweiten Knotenpunkt, und die Richtungen des Strahls vor und nach der Brechung sind einander parallel.

Die Entfernung des ersten Hauptpunkts vom ersten Brennpunkte ist die erste **Hauptbrennweite**. Sie wird positiv gerechnet, wenn der erste Hauptpunkt im Sinne der Fortbewegung des Lichts hinter dem ersten
40 Brennpunkte liegt. Ist also in *Fig. 36* AB die Axe, und A die Richtung,

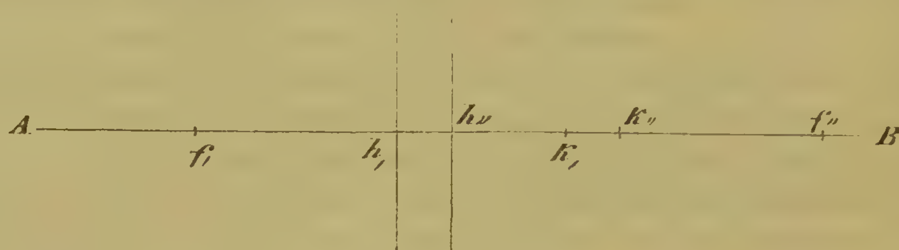


Fig. 36.

von welcher das Licht herkommt, $f_,$ der erste, $f_{,,}$ der zweite Brennpunkt, $h_,$ der erste, $h_{,,}$ der zweite Hauptpunkt, $K_,$ der erste, $K_{,,}$ der zweite Knotenpunkt, so ist $f_, h_,$ die positive erste Hauptbrennweite. Dagegen $f_{,,} h_{,,}$ als die Entfernung des zweiten Brennpunkts vom zweiten Hauptpunkte, ist die zweite Hauptbrennweite, positiv gerechnet, wenn, wie in der Figur, der Brennpunkt hinter dem Hauptpunkte liegt.

Die Entfernung des ersten Knotenpunkts vom ersten Brennpunkte ist gleich der zweiten Hauptbrennweite, die des zweiten Knotenpunkts vom zweiten Brennpunkte gleich der ersten Hauptbrennweite. Also:

$$\left.\begin{aligned} f_, K_, &= f_{,,} h_{,,} \\ f_, h_, &= f_{,,} K_{,,} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \alpha).$$

Daraus folgt, dafs der Abstand der gleichnamigen Haupt- und Knotenpunkte von einander gleich dem Unterschiede der beiden Brennweiten sei:

$$K_, h_, = K_{,,} h_{,,} = f_{,,} h_{,,} - f_, h_, \quad \ldots\ldots\ldots \quad \beta)$$

und dafs aufserdem der Abstand der beiden Hauptpunkte von einander gleich sei dem Abstande der beiden Knotenpunkte von einander:

$$h_, h_{,,} = K_, K_{,,} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \gamma).$$

Endlich verhalten sich die beiden Hauptbrennweiten zu einander wie die Brechungsverhältnisse des ersten und letzten Mittels:

$$\frac{f_, h_,}{n_1} = \frac{f_{,,} h_{,,}}{n_2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \delta).$$

Ist also das letzte Mittel dem ersten gleichartig und $n_1 = n_2$, wie es bei den meisten künstlichen optischen Instrumenten, nicht aber beim Auge der Fall ist, so sind die beiden Hauptbrennweiten gleich, und es fallen die gleichnamigen Hauptpunkte und Knotenpunkte zusammen, nach Gleichung β).

Die ersten Brenn-, Haupt- und Knotenpunkte beziehen sich nach den gegebenen Definitionen stets auf den Gang der Strahlen im ersten Medium, die zweiten auf den Gang im letzten Medium.

Legt man senkrecht zur Axe Ebenen durch die beiden Brennpunkte, so heifsen diese Brennebenen. Lichtstrahlen, welche von einem Punkte der ersten Brennebene ausgegangen sind, sind nach der Brechung unter einander parallel, und da nach der Definition der Knotenpunkte der vom leuchtenden Punkte nach dem ersten Knotenpunkte gerichtete Strahl nach der Brechung seiner ursprünglichen Richtung parallel sein soll, so müssen alle Strahlen, die von einem leuchtenden Punkte in der ersten Brennebene ausgegangen sind, jenem Strahle nach der Brechung parallel sein.

Strahlen, welche im ersten Mittel unter einander parallel sind, vereinigen 41
sich in einem Punkte der zweiten Brennebene, und da derjenige von den parallelen Strahlen, welcher durch den ersten Knotenpunkt geht, nach der Brechung vom zweiten Knotenpunkte aus seiner früheren Richtung parallel weiter geht, so mufs der Vereinigungspunkt der parallelen Strahlen da liegen, wo dieser letztere Strahl die zweite Brennebene schneidet.

Diese Regeln genügen, um in jedem Falle, wenn der Weg eines Strahls im ersten Medium gegeben ist, seinen Weg nach der letzten Brechung zu finden, und wenn ein leuchtender Punkt im ersten Medium gegeben ist, den Ort seines Bildes nach der letzten Brechung zu finden.

Es sei bekannt der Weg eines Strahls im ersten Medium; man soll seinen Weg im letzten Medium suchen.

In *Fig. 37*, deren hier nicht angegebene Bezeichnungen mit denjenigen von *Fig. 36* übereinstimmen, sei a der Punkt, wo der Strahl die erste Brennebene schneidet, b der Punkt, wo er die erste Hauptebene schneidet, wobei im allgemeinen die beiden Punkte a und b nicht in einer Ebene mit der Axe des Systems AB liegen

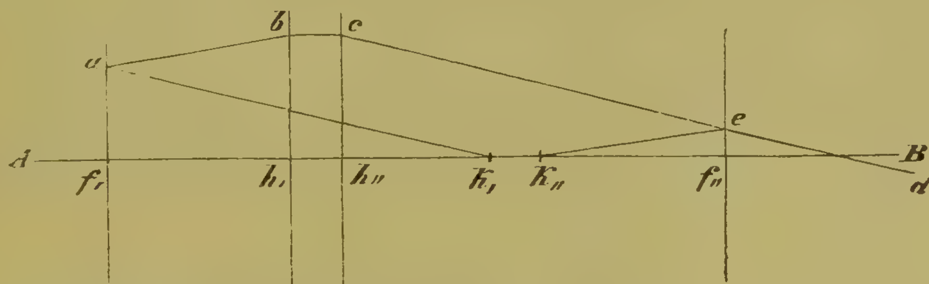


Fig. 37.

werden. Das Bild des Punktes b liegt in der zweiten Hauptebene, da die eine Hauptebene das Bild der anderen ist; und da ferner in diesem Falle das eine Bild dem anderen gleich und gleich gerichtet sein soll, so liegt das Bild des Punktes b der ersten Hauptebene in c, dem Fufspunkte des von b auf die zweite Hauptebene gefällten Lothes $b\,c$. Jeder Lichtstrahl, der von b ausgeht, oder durch b hindurchgeht, mufs also nach der Brechung durch c gehen, als dem Bilde von b. So auch die Fortsetzung des Strahls $a\,b$.

Zweitens geht der Strahl $a\,b$ durch den Punkt a der ersten Brennebene. Jeder Strahl, welcher von einem Punkte der ersten Brennebene ausgeht, ist nach den oben hingestellten Regeln nach der Brechung parallel dem Strahle, welcher von jenem Punkte a nach dem ersten Knotenpunkte geht. Also mufs der Strahl $a\,b$ nach der Brechung durch c gehen und parallel $a\,K_{\prime}$ sein. Man ziehe $c\,d$ parallel $a\,K_{\prime}$, so ist $c\,d$ der gebrochene Strahl.

Nach dem, was ich vorher über die Eigenschaft der zweiten Brennebene gesagt habe, können wir auch so verfahren. Man fälle das Loth $b\,c$ auf die zweite Hauptebene, ziehe $K_{,,}\,e$ parallel $a\,b$, welches in e die zweite Brennebene schneidet, so ist $c\,e$ der gebrochene Strahl. Dafs dieser mit $c\,d$ zusammenfällt, läfst sich leicht zeigen.

42 Es sei a *Fig.* 38 ein leuchtender Punkt; es soll sein Bild gefunden werden.

Man braucht nur zwei Strahlen von a aus nach der ersten Hauptebene zu ziehen, und deren Weg nach der Brechung zu construiren. Wo sie sich schneiden, liegt das Bild von a.

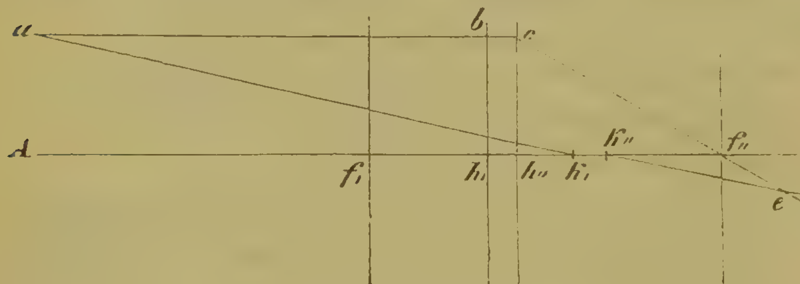


Fig. 38.

Wenn a aufserhalb der Axe liegt, ist es am bequemsten, den mit der Axe parallelen Strahl $a\,c$ und den nach dem ersten Knotenpunkte gehenden $a\,K_{,}$ zu benutzen. Wenn c der Punkt ist, wo der erstere Strahl die zweite Hauptebene schneidet, so ziehe man $c\,f_{,,}$ und verlängere es rückwärts oder vorwärts hinreichend, bis es die durch $K_{,,}$ mit $a\,K_{,}$ gelegte Parallele in e schneidet. Der Ort des Bildes ist e.

Dafs der Strahl $a\,c$ nach der Brechung längs $c\,e$ und $a\,K_{,}$ längs $K_{,,}\,e$ geht, ergiebt sich leicht aus der vorigen Aufgabe und den obigen Definitionen.

Liegt der Punkt a in der Axe, so geht einer seiner Strahlen in der Axe selbst ungebrochen fort. Man braucht dann nur irgend einen anderen Strahl zu construiren, der aufserhalb der Axe verläuft. Wo letzterer nach der Brechung die Axe wieder schneidet, ist der Ort des Bildes.

Nachdem ich so die Resultate der mathematischen Untersuchung für diejenigen meiner Leser vorausgeschickt habe, denen es nur auf die Kenntnifs der Resultate ankommt, lasse ich die vollständige mathematische Entwickelung derselben hier folgen.

Brechung an einer Kugelfläche.

Es sei a der Mittelpunkt der Kugelfläche $c\,b$, und p ein aufserhalb der Kugel liegender leuchtender Punkt. Ein von p ausgehender Lichtstrahl, welcher in der geraden Linie $p\,a$ auf den Mittelpunkt der Kugel zugeht, trifft die Kugelfläche normal, und geht deshalb ungebrochen weiter in der Verlängerung von $a\,p$ nach q hin. Ein anderer Lichtstrahl $p\,c$ treffe die Kugelfläche in c und werde hier gebrochen. Unsere nächste Aufgabe ist, seinen Weg nach der Brechung zu bestimmen.

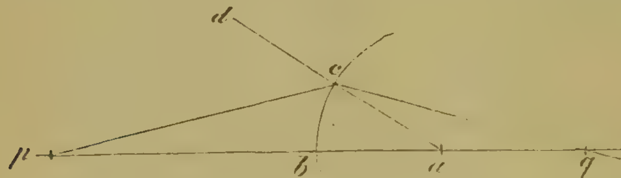


Fig. 39.

Nach dem oben angeführten Brechungsgesetze mufs derselbe zunächst in der Einfallsebene bleiben, d. h. in der durch den einfallenden Strahl und das Einfallsloth

gelegten Ebene. Da der Radius stets auf demjenigen Theile der Kugeloberfläche, zu welchem er hingeht, senkrecht steht, so ist in diesem Falle das Einfallsloth $c\,d$ die Verlängerung des Radius $a\,c$, und die Einfallsebene die durch $p\,c$ und $a\,d$ gelegte. In derselben liegt auch die ganze Linie pq, da zwei ihrer Punkte p und a darin liegen. Der gebrochene Strahl mufs also die Linie $p\,a$, wenn sie nach beiden Seiten in das Unendliche verlängert gedacht wird, in irgend einem Punkte q schneiden, dessen Entfernung von b zunächst bestimmt werden soll. Sollte der Strahl der Linie $p\,a$ parallel sein, so können wir den Durchschnittspunkt q als unendlich entfernt betrachten.

Die Lage des Punktes q wird nun durch die Bedingung gegeben, dafs

$$n_1 \,.\, \sin\,(p\,c\,d) = n_2 \,.\, \sin\,(q\,c\,a), \quad \ldots\ldots \quad 1)$$

wo n_1 das Brechungsverhältnifs des Mediums ist, aus welchem das Licht kommt, n_2 desjenigen, in welches es eintritt.

Da sich in geradlinigen Dreiecken die Sinus der Winkel wie die gegenüberliegenden Seiten verhalten, ist in dem Dreiecke $a\,p\,c$

$$\frac{\sin\,(p\,c\,a)}{\sin\,.(c\,p\,a)} = \frac{ap}{ac},$$

und in dem Dreiecke $a\,q\,c$

$$\frac{\sin\,(q\,c\,a)}{\sin\,(c\,q\,a)} = \frac{a\,q}{a\,c}.$$ 43

Wenn wir die erste dieser Gleichungen durch die zweite dividiren, und dabei bemerken, dafs der Sinus des Winkes $p\,c\,a$ gleich dem seines Nebenwinkels $p\,c\,d$ ist, so erhalten wir

$$\frac{\sin\,(p\,c\,d)}{\sin\,(q\,c\,a)} \cdot \frac{\sin\,(c\,q\,a)}{\sin\,(c\,p\,a)} = \frac{a\,p}{a\,q}.$$

Nach Gleichung 1) ist

$$\frac{\sin\,(p\,c\,d)}{\sin\,(q\,c\,a)} = \frac{n_2}{n_1}$$

und in dem Dreieck $p\,c\,q$ ist

$$\frac{\sin\,(c\,q\,a)}{\sin\,(c\,p\,a)} = \frac{c\,p}{c\,q}.$$

Die drei letzten Gleichungen geben daher

$$\frac{n_2\,.\,c\,p}{n_1\,.\,c\,q} = \frac{ap}{aq} \quad \ldots\ldots \quad 2).$$

Für $a\,p = \infty$ wird daraus

$$n_1\,.\,cq = n_2\,.\,aq\,, \quad \ldots\ldots \quad 2a),$$

da alsdann bis auf unendlich kleine Gröfsen

$$\frac{cp}{ap} = 1.$$

Man kann die Gleichung 2) leicht benutzen, um den Gang der Lichtstrahlen durch Construction zu finden, wobei man denn, da im Allgemeinen der Punkt q seine Lage ändert, wenn dem Punkte c eine andere Lage gegeben wird, findet, dafs die Lichtstrahlen sich nicht genau in einem Punkte, sondern in einer krummen Linie (kaustischen Linie) schneiden, von der Art, wie sie in *Fig. 40* für

parallel auffallende Strahlen dargestellt ist. *B B* ist hier die brechende Kugelfläche, *C* sind die einfallenden Strahlen. *G F G* die kaustische Linie, welche durch die Durchschnittspunkte je zweier zunächst auf einander folgender gebrochener Strahlen gebildet wird. Die mittelsten Strahlen vereinigen sich in der Spitze dieser Linie bei *F*.

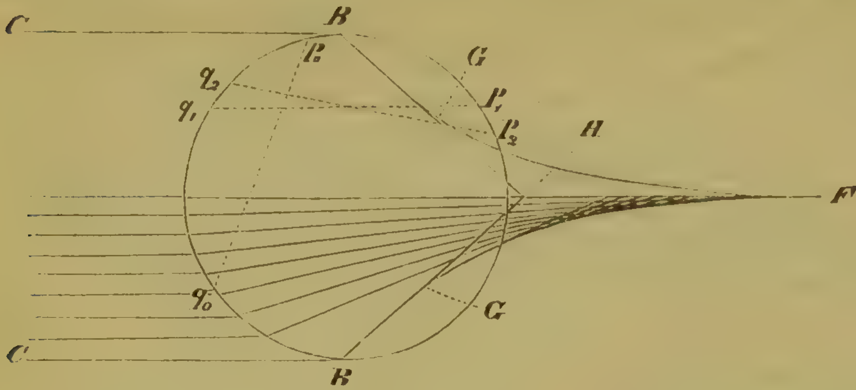


Fig. 40.

Beschränkung auf die mittleren Strahlen.

Bis hierher sind die entwickelten Gleichungen streng richtig. Von hier ab wollen wir uns auf diejenigen Strahlen beschränken, welche nahe senkrecht auf die brechende Fläche, also sehr nahe der Axe auf sie fallen. Dann sehen wir aus der *Fig. 39*, dafs, wenn der Punkt c sehr nahe an b rückt, das Verhältnis $\frac{cp}{cq}$ übergeht in $\frac{bp}{bq}$. Die Gleichung 2) wird dann also

$$\frac{n_2 \cdot bp}{n_1 \cdot bq} = \frac{ap}{aq} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2b).$$

44 Bezeichnen wir den Radius $a\,b$ der brechenden Fläche mit r, die Entfernung

$$\begin{aligned} b\,p &\text{ mit } f_1, \\ b\,q &\text{ mit } f_2, \\ a\,p &\text{ mit } g_1, \\ a\,q &\text{ mit } g_2, \end{aligned}$$

so dafs also

$$\left.\begin{aligned} f_1 + r &= g_1 \\ f_2 &= g_2 + r \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2c).$$

so wird die Gleichung 2b)

$$\frac{n_2 \cdot f_1}{n_1 \cdot f_2} = \frac{f_1 + r}{f_2 - r} \text{ oder}$$

$$\frac{n_2 \cdot (g_1 - r)}{n_1 \cdot (g_2 + r)} = \frac{g_1}{g_2}.$$

Daraus erhält man durch eine leichte Umformung:

$$\left.\begin{aligned} \frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} &= \frac{n_2 - n_1}{r}, \text{ oder} \\ \frac{n_2}{g_1} + \frac{n_1}{g_2} &= \frac{n_2 - n_1}{r}, \end{aligned}\right| \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3).$$

aus denen die gesuchte Gröfse f_2 oder g_2 zu bestimmen ist.

Nennen wir die Werthe von f_2 und g_2, welche einer unendlichen Entfernung des leuchtenden Punkts entsprechen, beziehlich F_2 und G_2, so erhalten wir, da $f_1 = \infty$ und $g_1 = \infty$,

$$\left.\begin{aligned} F_2 &= \frac{n_2 \cdot r}{n_2 - n_1} \\ G_2 &= \frac{n_1 \cdot r}{n_2 - n_1} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3a).$$

F_2 ist nach der oben gegebenen Definition die zweite Hauptbrennweite.

Setzen wir f_2 und g_2 unendlich grofs, und bezeichnen für diesen Fall f_1 und g_1 mit F_1 und G_1, so ist

$$\left.\begin{aligned} F_1 &= \frac{n_1 \cdot r}{n_2 - n_1} = G_2, \\ G_1 &= \frac{n_2\, r}{n_2 - n_1} = F_2. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3b)$$

F_1 ist die erste Hauptbrennweite.

Jetzt können wir den Gleichungen 3) die einfache Form geben

$$\left.\begin{aligned} \frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} &= 1, \\ \frac{G_1}{g_1} + \frac{G_2}{g_2} &= 1. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3c).$$

Die erste dieser Gleichungen giebt, nach f_1 und nach f_2 aufgelöst, folgende Formeln zur Berechnung dieser Gröfsen:

$$\left.\begin{aligned} f_1 &= \frac{F_1 \cdot f_2}{f_2 - F_2} \\ f_2 &= \frac{F_2 \cdot f_1}{f_1 - F_1} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3d).$$

Findet man negative Werthe dieser Gröfsen, so bedeutet es, dafs sie auf 45
der entgegengesetzten Seite der brechenden Fläche liegen, als in *Fig. 39* angenommen ist.

Bemerkungen. 1) Wenn das Licht nicht von p im ersten Medium, sondern von q im zweiten ausgeht, wird für den Strahl $c\,q$ *Fig. 39*, der vorher der gebrochene Strahl, jetzt der einfallende ist, $c\,p$ der zugehörige gebrochene sein, welcher vorher der einfallende war. Sind also die nahe senkrecht von p auf die brechenden Flächen fallenden Strahlen in q vereinigt, so werden die von q nahe senkrecht auffallenden in p vereinigt werden. Daraus ergeben sich nun gleich die Formeln für den Fall, dafs die Lichtstrahlen auf die concave Seite der Kugelfläche fallen. Man braucht nur das erste Medium jetzt das zweite zu nennen und umgekehrt, und dem entsprechend alle Indices der Buchstaben zu vertauschen. Die Grundgleichungen 3) werden alsdann

$$\frac{n_2}{f_2} + \frac{n_1}{f_1} = \frac{n_1 - n_2}{r}$$

$$\frac{n_1}{g_2} + \frac{n_2}{g_1} = \frac{n_1 - n_2}{r}$$

Man braucht also für eine concave brechende Fläche nur den Krümmungsradius r negativ zu setzen, so gilt auch für sie die Formel 3), und natürlich gelten eben so auch die daraus abgeleiteten 3 a), 3 b), 3 c) und 3 d).

2) Wenn q das Bild von p ist, ist auch p das Bild von q. Um diese gemeinsame Beziehung auszudrücken, nennt man sie conjugirte Vereinigungspunkte, wobei man es zweifelhaft läfst, von welchem beider Punkte das Licht ausgeht. Ebenso ist es für die Brechungsgesetze einerlei, ob der Licht aussendende Punkt ein materieller, Licht erzeugender oder auffallendes Licht zerstreuender Punkt sei, oder nur der Vereinigungspunkt von gebrochenen Strahlen. Daher kann der leuchtende Punkt auch ein virtueller Vereinigungspunkt solcher Strahlen sein, und in der Verlängerung der Strahlen hinter der brechenden Fläche liegen.

3) Wenn r unendlich grofs, d. h. die brechende Fläche eben wird, so werden nach 3 a) auch die Brennweiten unendlich grofs, und die erste der Gleichungen 3) verwandelt sich in

$$\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = 0$$

oder

$$f_2 = -\frac{n_2}{n_1} \cdot f_1 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 3e).$$

Das Bild liegt also auf derselben Seite von der brechenden Fläche, wie der Gegenstand, aber in einer anderen Entfernung.

n Die Änderung der Divergenz der Strahlen.

Für die Änderung der Divergenz eines engen von einer kugeligen Fläche gebrochenen oder auch gespiegelten Strahlenbündels bei nahehin senkrechter Incidenz läfst sich ein wichtiges allgemeines Gesetz angeben, welches eigentlich am vollständigsten und zugleich am anschaulichsten das Wesen dieses Vorgangs bezeichnet. Da es bei der Spiegelung am einfachsten hervortritt, und wir im Folgenden auf die Reflexion an gekrümmten Flächen vielfach Rücksicht nehmen müssen, so will ich das Divergenzgesetz zunächst für Kugelspiegel erörtern.

Es sei $a\,a_1$ *Fig. 41* eine convexe spiegelnde Fläche und o ihr Mittelpunkt. Der leuchtende Punkt b werde durch die Gerade $b\,o$ mit dem Mittelpunkte der Kugel verbunden. Ein zweiter Strahl $b\,a$ treffe bei a die spiegelnde Fläche. Das Einfallsloth ist in diesem Falle der verlängerte Radius $o\,a$; Einfallswinkel und Reflexionswinkel, welche beide einander gleich sind, sind beide mit α bezeichnet. Da der gespiegelte Strahl in derselben Ebene, wie $b\,a$ und $o\,a$, d. h. in der Ebene der Zeichnung liegen mufs, so wird er passend verlängert die Linie $b\,o$ schneiden müssen; der Schnittpunkt sei c. Alsdann ist der Einfallswinkel α Aufsenwinkel zu dem Dreieck $a\,b\,o$, folglich gleich der Summe der beiden innern gegenüberliegenden Winkel:

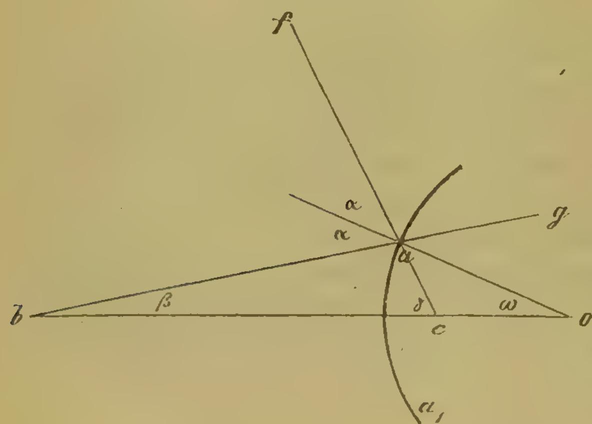


Fig. 41.

$$\alpha = \beta + \omega.$$

Der Reflexionswinkel α dagegen ist als Scheitelwinkel gleich dem Winkel *cao* in dem gleichnamigen Dreieck, und bildet in diesem mit dem Winkel ω das Paar der inneren gegenüberliegenden Winkel zum Winkel γ. Also

$$\gamma = \alpha + \omega.$$

Addire ich beide Gleichungen, so hebt sich α fort, und es bleibt

$$\gamma - \beta = 2\,\omega \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4)$$

Nun ist γ der Winkel, um den der Strahl von der Axe *b o* divergirt nach der Spiegelung, β derselbe vorher. Es ist also die Divergenz des Strahls gegen die Axe durch die Spiegelung um $2\,\omega$ vermehrt worden, d. h. um die doppelte Divergenz des nach dem Einfallspunkt gerichteten Radius der Kugelfläche.

Diese Vermehrung der Divergenz ist nicht abhängig von der Entfernung, in der der leuchtende Punkt von der Kugelfläche liegt; sie würde auch dieselbe sein für alle anderen Strahlen, welche einen auf die spiegelnde Fläche gezeichneten Kreis treffen, dessen Punkte alle dieselbe Entfernung wie *a* von der Axe haben. Wenn wir uns also die Ausdehnung der spiegelnden Fläche durch einen kreisförmigen Rand begrenzt denken, so würde der obige Satz für die Divergenzvermehrung der Randstrahlen eines beliebigen in der Axe liegenden leuchtenden Punktes gelten.

Käme das Licht von *f* in der Richtung *fa* und würde nach *ab* reflectirt, so wäre es in beiden Fällen convergent zur Axe und diese Convergenz würde vermindert. Betrachten wir Convergenz als negative Divergenz, so wird auch in diesem Falle die Divergenz durch die Spiegelung gröfser, und zwar um $2\,\omega$.

Dieselbe Kugelfläche könnte auch auf der andern Seite spiegeln, dann müfsten die Verlängerungen der bisher betrachteten Strahlen für diese eintreten. Das Licht könnte von *c* nach *a* gehen und nach *g* zurückgeworfen werden; γ wäre der Divergenzwinkel vor, β nach der Spiegelung. Die Divergenz wäre um $2\,\omega$ durch die Spiegelung verringert. Ginge das Licht von *g* nach *a* und *c*, so hätten wir convergentes Licht, dessen Convergenz um $2\,\omega$ vermehrt wird.

Concavspiegel also vermindern die Divergenz der Strahlen um $2\,\omega$, Convexspiegel vermehren sie um ebenso viel. Jene heifsen deshalb auch Sammelspiegel, letztere Zerstreuungsspiegel.

Entsprechende Sätze lassen sich auch für enge Strahlenbündel aufstellen, die von kugeligen brechenden Flächen unter kleinen Einfallswinkeln gebrochen werden, welche letztere Beschränkung bei den Kugelspiegeln nicht nöthig ist.

In *Fig. 39* ist $\angle\, cpb$ der Divergenzwinkel der einfallenden Strahlen, und mag als solcher kurzweg mit p bezeichnet werden. cqb ist der Convergenzwinkel der gebrochenen Strahlen und heifse dem entsprechend $(-q)$; cab ist der Winkel am Mittelpunkt der brechenden Kugel, und heifse ω. Dann ist der Einfallswinkel:

$$dcp = p + \omega;$$

der Brechungswinkel

$$acq = \omega - (-q) = \omega + q;$$

und nach dem Brechungsgesetz

$$n_1 \,.\, \sin\,(p + \omega) = n_2 \,.\, \sin\,(q + \omega),$$

oder wenn wir die Sinus der Summen auflösen:

$$\cos\omega \left[n_1 \,.\, \sin p - n_2 \,.\, \sin q \right] = \sin\omega \left[n_2 \,.\, \cos q - n_1 \,.\, \cos p \right].$$

Wenn diese Winkel sehr klein sind, können wir ihre Cosinus gleich 1, ihre Sinus gleich dem Bogen setzen, und erhalten

$$n_1 \cdot p - n_2 \cdot q = (n_2 - n_1) \cdot \omega \quad \text{4a)}$$

Das Product der Divergenzwinkel mit dem Brechungsverhältnifs des Medium, in welchem der Strahl verläuft, können wir die optische Divergenz der Strahlen nennen. Diese wird bei der Brechung verändert um eine Gröfse $(n_2 - n_1) \cdot \omega$, welche unabhängig von der Entfernung des leuchtenden Punktes ist.

Die optische Divergenz der Strahlen wird vermindert, wenn das stärker brechende Medium an der concaven Seite der Kugelfläche liegt; sie wird vergröfsert im entgegengesetzten Falle. Erstere Flächen sind sammelnde, collective, letztere zerstreuende, dispersive. Man erkennt das leicht, wenn man die Strahlen der *Fig. 39* vorwärts und rückwärts gehen läfst, beziehlich $n_2 < n_1$ annimmt.

Fällt man in beiden Fällen vom Einfallspunkt an der Kugelfläche ein Loth auf die Axe, welches mit ϱ bezeichnet werde, und nennt die Entfernungen seines Fufspunkts vom leuchtenden Punkte f_1, von seinem Bilde f_2, und rechnet beide Gröfsen bei Linsen, wie bei Spiegeln als positiv, wenn das Licht erst den Objectpunkt passirt, dann die Kugelfläche, dann das Bild: so kann der Divergenzwinkel der einfallenden Strahlen, wenn er sehr klein ist, durch seine Tangente $\frac{\varrho}{f_1}$ ersetzt werden, der Convergenzwinkel der abgelenkten Strahlen durch $\frac{\varrho}{f_2}$, der Winkel ω durch $\frac{\varrho}{r}$. Zugleich rückt bei Verkleinerung des Winkels ω der Fufspunkt des Lothes immer näher der Kugelfläche, so dafs f_1 und f_2 die Entfernungen von Object und Bild von der Kugelfläche werden. Dann giebt Gleichung 4) für spiegelnde Kugelflächen unmittelbar

$$\frac{\varrho}{f_1} + \frac{\varrho}{f_2} = \frac{2\varrho}{r},$$

oder

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{2}{r};$$

und Gleichung 4a) ergiebt das Gesetz der Gleichung 3)

$$\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r} \quad \text{5)}$$

Man kann also das Gesetz der Bildabstände unmittelbar aus dem Divergenzgesetz herleiten.

Für ebene Flächen wird $\omega = 0$, also die optische Divergenz der Strahlen, durch Brechung und Spiegelung nicht geändert.

Abbildung flächenhafter Objecte durch eine brechende Kugelfläche.

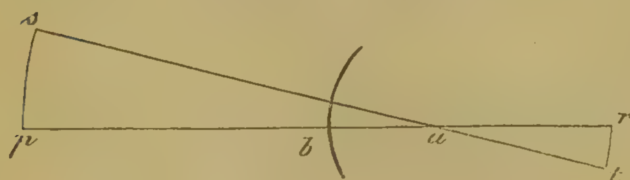


Fig. 42.

Wenn seitwärts von dem leuchtenden Punkte in gleicher Entfernung von der brechenden Kugelfläche und ihrem Mittelpunkte a ein zweiter leuchtender Punkt s liegt, dessen Strahlen ebenfalls nur unter kleinen

Einfallswinkeln auf die Kugelfläche fallen, so wird dieser ein Bild ebenfalls in gleicher Entfernung hinter der Kugel und ihrem Mittelpunkte haben. Sind viele leuchtende Punkte s vorhanden, die alle diesen Bedingungen entsprechen, so werden sie alle, da sie gleiche Entfernung von a haben, in einer mit der brechenden Fläche concentrischen Kugelfläche liegen. Das gleiche gilt von ihren Bildern t. Für jeden Punkt s der einen Kugelfläche findet man den Ort des Bildes t dann, indem man von s aus eine Gerade bis zum Krümmungsmittelpunkt a zieht, und diese verlängert, bis sie die Kugelfläche der Bilder in t schneidet. Dann ist t das Bild von s. Daraus geht hervor, dafs ein solches Bild seinem Objecte geometrisch ähnlich ist.

Das Gröfsenverhältnifs zwischen Object und Bild ergiebt sich hierbei:

$$\frac{ps}{rt} = \frac{pa}{ar} = \frac{g_1}{g_2}$$

Bezeichnen wir die Gröfse des Objekts $ps = \beta_1$, und die des Bildes mit $-\beta_2$, weil es umgekehrt ist, so ist demnach

$$-\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{g_1}{g_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6)$$

Die Bedingung, dafs alle Strahlen, welche von einem der leuchtenden Punkte s auf die brechende Kugelfläche fallen, dies nur unter sehr kleinen Einfallswinkeln thun dürfen, beschränkt übrigens den deutlich abzubildenden Theil des Objects sp auf einen sehr kleinen Theil der betreffenden Kugelfläche, welcher Theil sich nicht merklich von einer in p senkrecht zu pa errichteten, und daher die Kugelfläche ps tangirenden Ebene unterscheidet. Dasselbe gilt von der entsprechenden Fläche des Bildes rt. Man kann also von der Krümmung der beiden kleinen Kugelstücke absehen, und Object, wie Bild, als gelegen in zwei sehr kleinen zur Axe senkrechten ebenen Flächen betrachten.

Aus Gleichung 6) ergiebt sich in Verbindung mit 2 c), 3 a), 3 b) und 3 c)

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{G_2}{G_1 - g_1} = \frac{G_2 - g_2}{G_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 6\,a)$$

oder

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{F_1}{F_1 - f_1} = \frac{F_2 - f_2}{F_2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 6\,b)$$

Wenn die brechende Fläche eben ist, werden die Brennweiten unendlich grofs, und die Gleichung 6 b) verwandelt sich in

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6\,c)$$

Das Bild, welches eine ebene brechende Fläche entwirft, ist also so grofs wie sein Object.

Brennpunkte, Hauptpunkte und Knotenpunkte der einfachen brechenden Fläche.

Die Brennpunkte sind diejenigen Punkte, in denen sich Strahlen vereinigen, die im ersten oder zweiten Mittel parallel der Axe verlaufen. Die Entfernungen der beiden Brennpunkte F_1 und F_2 von dem Scheitel der brechenden Fläche, und G_1 und G_2 von deren Mittelpunkte sind schon oben in den Gleichungen 3 a) und 3 b) 48
gefunden, und dadurch ist die Lage der Brennpunkte bestimmt.

Die Brennebenen sind senkrecht durch die Brennpunkte gelegene Ebenen. Da das Bild jedes Brennpunktes in unendlicher Entfernung liegt, so mufs dasselbe auch für solche Punkte der Brennebenen der Fall sein, welche der Axe nahe genug sind, um regelmäfsige Bilder geben zu können. Strahlen, die von einem Punkte einer Brennebene ausgehen, werden also nach der Brechung parallel sein.

Die Hauptpunkte und die durch sie senkrecht zur Axe gelegten Hauptebenen sind dadurch charakterisirt, dafs Bilder in den Hauptebenen liegend gleich gerichtet und gleich grofs seien. Für die Hauptebenen mufs also $\beta_1 = \beta_2$ sein. Das kann nach den Gleichungen 6 b) nur der Fall sein, wenn $f_1 = 0$ und $f_2 = 0$, was laut der Gleichungen 3 d) stets gleichzeitig der Fall sein mufs. Beide Hauptpunkte fallen also in unserem Falle zusammen in dem Punkt, wo die Axe die brechende Fläche schneidet, und dieser Hauptpunkt ist sein eigenes Bild.

Die Knotenpunkte sind dadurch definirt, dafs jeder Strahl, der vor der Brechung durch den ersten geht, nach der Brechung durch den zweiten geht, und dabei seiner ersten Richtung parallel bleibt. Auch diese beiden fallen in einen Punkt, nämlich den Mittelpunkt der Kugel zusammen. Denn ein Strahl, der im ersten Mittel auf den Mittelpunkt der Kugel zugeht, geht ungebrochen durch die Fläche, geht also auch im zweiten Mittel durch den Mittelpunkt, und ist seiner früheren Richtung parallel.

Die Constructionen der Richtung der Strahlen, welche S. 58 und 59 aus den Definitionen der genannten Ebenen und Punkte hergeleitet sind, lassen sich also auch auf eine einzelne brechende Fläche anwenden, und die Constructionen vereinfachen sich noch dadurch, dafs erstens jeder Punkt in der ersten Hauptebene sein eigenes Bild ist, und man nicht erst den zugehörigen in der zweiten Hauptebene zu suchen hat, und zweitens dadurch, dafs der nach dem ersten Knotenpunkte gehende Strahl unmittelbar in seiner eigenen Verlängerung weiter geht und man nicht erst eine Parallele mit ihm durch den zweiten Knotenpunkt zu legen hat.

Verallgemeinerung des Gesetzes für die Abstände der Bilder.

Wir haben unter 3 c) zwei Gleichungen ganz ähnlicher Form aufgestellt, bei denen aber die Entfernungen der Bilder von verschiedenen Punkten aus gemessen waren. Gleichungen von derselben einfachen Form erhalten wir immer, wenn wir die Entfernungen der Vereinigungspunkte, welche dem ersten Mittel angehören, von einem beliebigen Punkte s *Fig. 43* der Centrallinie ap ab messen, und von dem Bilde t dieses Punktes aus die Entfernungen der Vereinigungspunkte, die dem zweiten Mittel angehören.

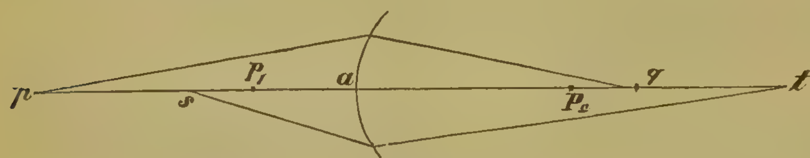


Fig. 43.

Ist also t das Bild von s, q das Bild von p, P_1 der erste, P_2 der zweite Hauptbrennpunkt, und bezeichnen wir

sa mit f_1, $\quad P_1 a$ mit F_1,
ta mit f_2, $\quad P_2 a$ mit F_2,
pa mit φ_1,
qa mit φ_2,

$$p\,s \text{ mit } h_1, \qquad q\,t \text{ mit } -h_2,$$
$$P_1\,s \text{ mit } -H_1, \qquad t\,P_2 \text{ mit } -H_2,$$ 49

so ist

$$\alpha) \quad \frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1$$
$$\beta) \quad \frac{F_1}{\varphi_1} + \frac{F_2}{\varphi_2} = 1$$
$$\gamma) \quad \varphi_1 - f_1 = h_1,$$
$$\delta) \quad \varphi_2 - f_2 = h_2,$$
$$\varepsilon) \quad F_1 - f_1 = H_1,$$
$$\zeta) \quad F_2 - f_2 = H_2.$$

Setzt man aus γ) und δ) die Werthe von φ_1 und φ_2 in β), so erhält man

$$\frac{F_1}{h_1 + f_1} + \frac{F_2}{h_2 + f_2} = 1, \text{ oder}$$
$$F_1 \cdot (h_2 + f_2) + F_2 \cdot (h_1 + f_1) = (h_1 + f_1) \cdot (h_2 + f_2).$$

Subtrahirt man hiervon die aus α) abzuleitende Gleichung

$$F_1 \cdot f_2 + F_2 \cdot f_1 = f_1 \cdot f_2,$$

so erhält man als Rest

$$F_1 \cdot h_2 + F_2 \cdot h_1 = h_1 \cdot h_2 + h_1 \cdot f_2 + h_2 \cdot f_1, \text{ oder}$$
$$(F_1 - f_1) \cdot h_2 + (F_2 - f_2) \cdot h_1 = h_1 \cdot h_2,$$

was vermöge der Gleichungen ε) und ζ) sich verwandelt in

$$H_1 \cdot h_2 + H_2 \cdot h_1 = h_1 \cdot h_2, \text{ oder}$$
$$\frac{H_1}{h_1} + \frac{H_2}{h_2} = 1 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 7).$$

Wenn man also als Ausgangspunkte für die Messung der Abstände irgend ein Paar zusammengehöriger Vereinigungspunkte von Lichtstrahlen benutzt, kommt man immer wieder zu derselben einfachen Formel zurück. Da in der brechenden Fläche selbst und in ihrem Mittelpunkte der leuchtende Punkt mit seinem Gegenstande zusammenfällt, sind diese beiden Punkte ihre eigenen Bilder und die Formeln 3c) bilden deshalb nur spezielle Fälle von 7).

Abstände der Bilder von den Brennpunkten.

Wenn man den Punkt s in den ersten Brennpunkt verlegt, wird die Gleichung 7) unbrauchbar, weil H_2 und h_2 unendlich grofs werden. Man findet aber die entsprechende Gleichung leicht aus der ersten der Gleichungen 3d):

$$f_1 = \frac{F_1 \cdot f_2}{f_2 - F_2}.$$

Zieht man von beiden Seiten F_1 ab, so erhält man:

$$f_1 - F_1 = \frac{F_1 \cdot F_2}{f_2 - F_2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 7a).$$

Setzen wir hier $f_1 - F_1 = l_1$, und $f_2 - F_2 = l_2$, wobei l_1 die Entfernung des leuchtenden Punktes vom ersten Brennpunkte aus nach vorn gerechnet, l_2 die Entfernung seines Bildes vom zweiten Brennpunkte aus nach hinten sein würde: so erhalten wir die einfachste Form, in der sich das Gesetz für die Lage der Bilder darstellen läfst:

$$l_1 \cdot l_2 = F_1 \cdot F_2 \quad \ldots \ldots \quad 7\text{b}).$$

In derselben Bezeichnungsweise wird das Gesetz für die Gröfse der Bilder, die Gleichung 6 b)

$$\left.\begin{aligned} \frac{\beta_1}{\beta_2} &= -\frac{l_1}{F_1} \text{ oder} \\ \frac{\beta_2}{\beta_1} &= -\frac{l_2}{F_2} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \ldots \quad 7\text{c}).$$

n Diese Formeln 7 c) sind bei weitem die einfachsten und übersichtlichsten, in denen die Gesetze der optischen Bilder ausgedrückt werden können. Wir werden im Folgenden sehen, dafs sie gleichzeitig ganz allgemein für beliebig zusammengesetzte Systeme von centrirten, brechenden und spiegelnden Kugelflächen gelten. Man sieht daraus unmittelbar, dafs Bilder collectiver Flächen umgekehrt sind, wenn das Object vor dem ersten Brennpunkt, das Bild also hinter dem zweiten liegt.

Dagegen ist das Bild collectiver Flächen aufrecht, wenn ihr Object hinter dem ersten Brennpunkt liegt, ihr Bild also vor dem zweiten.

Bei dispersiven Flächen verhält sich dies Alles umgekehrt.

Beziehung zwischen der Gröfse der Bilder und optischen Neigung der Strahlen.

50 Es sei in *Fig. 44* $p\,q$ die Axe, $s\,p$ ein Objekt und $q\,r$ sein Bild. Wir wollen die Winkel α_1 und α_2 bestimmen, welche einer der von p ausgehenden Strahlen $p\,c$ vor und nach der Brechung mit der Axe macht, und diese Winkel positiv rechnen, wenn der Strahl sich in Richtung der als positiv gerechneten Bilder von der Axe entfernt. Es ist also $\angle\, cpa = \alpha_1$, $\angle\, c\,q\,a = -\alpha_2$. Es sei ferner, wie bisher, $s\,p = \beta_1$, $q\,r = -\beta_2$, $a\,p = f_1$, $a\,q = f_2$.

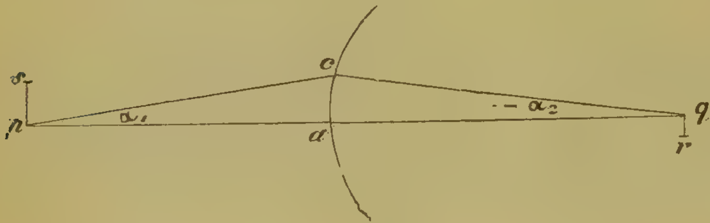


Fig. 44.

Da die Einfallswinkel der Strahlen an der brechenden Fläche immer sehr klein bleiben sollen, mufs $c\,a$ ein sehr kleiner Bogen sein, den wir annähernd als eine gegen die Axe senkrechte gerade Linie betrachten können. Wir können also setzen

$$a\,c = f_1 \cdot tg\ \alpha_1,$$
$$a\,c = -f_2 \cdot tg\ \alpha_2, \text{ also}$$

$$f_1 \cdot tg\ \alpha_1 = -f_2 \cdot tg\ \alpha_2 \quad \ldots \ldots \quad \text{A.}$$

Wir haben ferner nach 3d) und 6b):

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{F_2}{f_1 - F_1} = \frac{f_2 - F_2}{F_1}$$

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{F_1}{F_1 - f_1} = \frac{F_2 - f_2}{F_2}$$

und $\frac{F_2}{F_1} = \frac{n_2}{n_1}$ nach 3a) und 3b). Daraus folgt:

$$\frac{f_2}{f_1} = -\frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{\beta_2}{\beta_1}.$$

Dies in die Gleichung A gesetzt, giebt

$$n_1 \cdot \beta_1 \cdot tg\ \alpha_1 = n_2 \cdot \beta_2 \cdot tg\ \alpha_2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 7\text{d}).$$

Diese Gleichung spricht ein wichtiges von LAGRANGE aufgestelltes Gesetz aus, welches die Gröfse der Bilder mit der Divergenz der Strahlen verknüpft, unabhängig von der Entfernung und der Brennweite der brechenden Fläche.

Da die Winkel α_1 und α_2 klein sein müssen, wenn überhaupt regelmäfsige *n*
Bilder entworfen werden sollen, so können wir in der letzten Gleichung auch ihre Tangenten durch die Bögen ersetzen und schreiben:

$$n_1 \cdot \alpha_1 \cdot \beta_1 = n_2 \cdot \alpha_2 \cdot \beta_2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 7\text{e}).$$

Wir wollen die Producte $n\alpha$ hier als die optische Neigung der betreffenden Theile des Strahls gegen die Axe bezeichnen.

Dann lautet das Gesetz von LAGRANGE, dafs das Product aus der optischen Neigung eines Strahls mit der linearen Gröfse des demselben Medium angehörenden Bildes bei der Brechung an einer Kugelfläche unter kleinem Einfallswinkel constant bleibt.

Umgekehrten Bildern, deren Gröfse negativ gerechnet wird, entspricht demnach auch ein negativer Werth der optischen Neigung.

Bei der früheren Berechnung der Convergenz und Divergenz der Strahlen haben wir alle Strahlen auf eine gleichbleibende Axendistanz *ac* an der brechenden Fläche bezogen, und brauchten die Strahlen nicht zu unterscheiden, die in verschiedenen durch die Axe gelegten Ebenen verlaufen. Wenn convergente Strahlen die Axe schneiden, werden sie divergent. Zwischen den Punkten *p* und *q Fig. 43* würden die Winkel α_1 und α_2 auch als die Divergenz- und Convergenzwinkel für den Axenabstand *ac* betrachtet werden können. Der Neigungswinkel wird aber als unverändert betrachtet, wenn der Strahl bei *q* die Axe schneidet. Insofern sind beide Winkel verschieden.

Brechung in Systemen von Kugelflächen.

Wir wollen jetzt die Gesetze der Brechung in centrirten optischen Systemen unter- *50*
suchen, d. h. solchen, welche eine Reihe von brechenden Kugelflächen enthalten, deren Mittelpunkte alle in einer geraden Linie, der optischen Axe des Systems, liegen.

Vorn nennen wir in Bezug auf das System die Seite, von der das Licht her- *51*
kommt, hinten die, wo es hingeht. Die brechende Fläche, welche das Licht zuerst trifft, ist die erste, das Medium, welches vor der ersten brechenden Fläche gelegen ist, das erste, das zwischen der ersten und zweiten gelegene, das zweite, das hinter der letzten, das letzte. Wenn wir m brechende Flächen haben, so haben wir $m + 1$ brechende Medien. Es sei n_1 das Brechungsverhältnifs des ersten, n_2 des zweiten, n_{m+1} des letzten brechenden Mittels. Wie bisher nehmen wir die Radien der brechenden Flächen positiv, wenn deren Convexität nach

vorn, negativ, wenn sie nach hinten sieht. Auch bemerke ich hier gleich ein für alle Mal, dafs, wenn von einem Strahlencentrum oder Bilde gesprochen wird, welches in einem gewissen brechenden Mittel liege, oder diesem angehöre, darunter auch stets der Fall mitverstanden ist, wo das Bild potentiell ist, und erst durch Verlängerung der Strahlen über die Grenzen des Mittels hinaus entstehen würde.

Zunächst wissen wir aus der bisherigen Untersuchung, dafs homocentrische Strahlen, welche unter kleinen Einfallswinkeln auf kugelige brechende Flächen fallen, homocentrisch bleiben. Daraus folgt, dafs homocentrische Strahlen, welche unter kleinen Winkeln gegen die Axe in das optische System eintreten, nach jeder Brechung homocentrisch bleiben, und ebenso aus der letzten brechenden Fläche wieder heraustreten. Wenn das einfallende Licht einer Anzahl von Vereinigungspunkten angehört, welche alle in einer kleinen auf der optischen Axe senkrechten Ebene liegen, so wissen wir ferner, dafs nach der ersten Brechung die Vereinigungspunkte wieder alle in einer auf der optischen Axe senkrechten Ebene liegen, und ihre Vertheilung der früheren geometrisch ähnlich ist. So wird es daher auch nach jeder folgenden Brechung sein, und auch das letzte Bild wird dem ursprünglichen geometrisch ähnlich sein, und wie dieses in einer auf die optische Axe senkrechten Ebene liegen.

Indem man nun das Bild, welches von der ersten brechenden Fläche entworfen ist, als den Gegenstand für die zweite betrachtet, das Bild der zweiten als den Gegenstand der dritten u. s. w., kann man ohne besondere Schwierigkeit schliefslich Gröfse und Lage des letzten Bildes berechnen. Allerdings werden aber die Formeln schon bei einer mäfsigen Zahl brechender Flächen sehr weitläufig. Hier kommt es uns nur darauf an, einige allgemeine Gesetze zu beweisen, welche für jede beliebige Zahl brechender Flächen gültig sind, was uns für das Auge desto wichtiger ist, da dieses in den verschiedenen Schichten der Krystallinse unendlich viele brechende Flächen enthält, die Rechnung auf dem angedeuteten Wege also doch nicht zu Ende zu führen sein würde.

I.

Zuerst will ich zeigen, dafs das in Gleichung 7) für eine Fläche ausgesprochene Gesetz auch für beliebig viele gilt.

Es sei in *Fig. 45* die mit 1 bezeichnete brechende Fläche die erste, die mit $(m - 1)$ bezeichnete die vorletzte, die mit m bezeichnete die letzte Fläche des

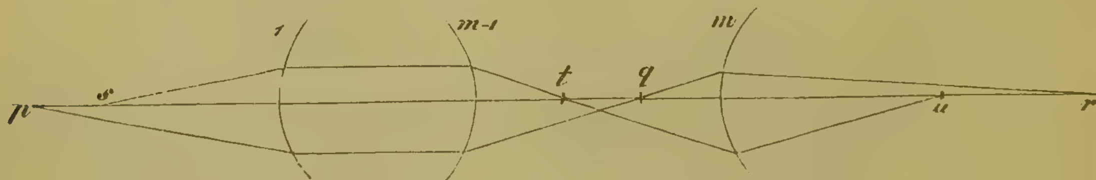


Fig. 45.

Systems. Wenn s der Vereinigungspunkt der eintretenden Strahlen ist, sei u der der austretenden, wenn p der der eintretenden ist, sei r der der austretenden. Wir bezeichnen ps mit h_1, ur mit h_{m+1}, so will ich beweisen, dafs

$$\frac{H_1}{h_1} + \frac{H_2}{h_{m+1}} = 1,$$

52 wo H_1 der Abstand des ersten Hauptbrennpunktes von s, H_2 der des zweiten von u ist.

Um das Gesetz allgemein zu beweisen, werde ich zeigen, daſs, wenn es für ein System von $(m-1)$ Flächen richtig ist, es auch für m Flächen gilt. Da es nun für eine Fläche bewiesen ist, folgt dann, daſs es auch für zwei, und wenn für zwei, auch für drei u. s. w. *in infinitum* richtig sei.

Das System der $(m-1)$ ersten Flächen entwerfe von dem Punkte s das Bild t, und von dem Punkte p das Bild q, und tq werde bezeichnet mit h_m. Die Entfernungen der Hauptbrennpunkte des Systems der $(m-1)$ Flächen von den Punkten s und t seien beziehlich L_1 und L_2, die Entfernungen der Hauptbrennpunkte der letzten $m$ten Fläche von den Punkten t und u seien beziehlich M_1 und M_2, wobei alle diese Entfernungen immer von den Punkten s, t und u aus in der Richtung positiv gerechnet werden, in welcher das brechende Medium, dem die betreffenden Strahlenbündel angehören, von den betreffenden brechenden Flächen oder Systemen liegt. Nun haben wir nach der obigen Voraussetzung

$$\frac{L_1}{h_1} + \frac{L_2}{h_m} = 1,$$

und für die Brechung in der letzten Fläche

$$-\frac{M_1}{h_m} + \frac{M_2}{h_{m+1}} = 1.$$

Wenn wir die erste dieser Gleichungen mit L_2, die zweite mit M_1 dividiren und beide addiren, erhalten wir

$$\frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{1}{h_1} + \frac{M_2}{M_1} \cdot \frac{1}{h_{m+1}} = \frac{1}{L_2} + \frac{1}{M_1},$$

oder, indem wir mit $\frac{M_1 \cdot L_2}{M_1 + L_2}$ multipliziren:

$$\frac{M_1 \cdot L_1}{M_1 + L_2} \cdot \frac{1}{h_1} + \frac{M_2 \cdot L_2}{M_1 + L_2} \cdot \frac{1}{h_{m+1}} = 1.$$

Setzen wir $h_1 = \infty$, wobei $h_{m+1} = H_2$ werden muss, so ergiebt diese Gleichung

$$H_2 = \frac{M_2 \cdot L_2}{M_1 + L_2},$$

und setzen wir $h_{m+1} = \infty$, wobei $h_1 = H_1$ werden muss, so ergiebt sich

$$H_1 = \frac{M_1 \cdot L_1}{M_1 + L_2};$$

also haben wir schlieſslich

$$\frac{H_1}{h_1} + \frac{H_2}{h_{m+1}} = 1, \quad \ldots\ldots\ldots \quad 8),$$

wie zu beweisen war.

Diese Gleichung liefert für jeden reellen Werth zwischen $+\infty$ und $-\infty$ von h_1 einen und nur einen von h_{m+1}, und ebenso für jeden der letzteren Gröſse einen und nur einen von h_1. Der erste wie der letzte Vereinigungspunkt können also an jeder Stelle der Axe liegen, und sobald der eine gegeben ist, ist auch die Lage des anderen eindeutig bestimmt.

II.

Jedes optische System hat zwei und nur zwei zusammengehörige Vereinigungspunkte der Lichtstrahlen, in denen die Gröfse eines auf die Axe senkrechten ebenen Bildes der des zugehörigen Gegenstandes gleich wird. Wir nennen die Ebene eines solchen Gegen-
53 standes die erste und die des zugehörigen Bildes die zweite Hauptebene des Systems, und die beiden Punkte, wo sie die optische Axe schneiden, beziehlich den ersten und zweiten Hauptpunkt. Die zu den Hauptpunkten gehörigen Hauptbrennweiten sind den zugehörigen Brechungsverhältnissen des ersten und letzten Mittels proportional.

Beweis. Es sei sp der abgebildete Gegenstand, p ein Punkt desselben in der Axe, s ein anderer seitlich davon. Wenn wir den Gegenstand längs der Axe

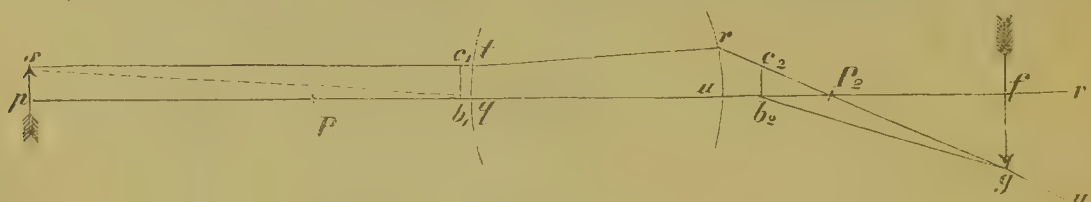


Fig. 46.

verschieben, so dafs er immer sich selbst parallel bleibt, so wird sich der Punkt s in der mit der Axe parallelen Linie st bewegen. Der Lichtstrahl st wird also stets dem Punkte s angehören, welches auch die Entfernung pq sein möge. Die der Axe parallelen Lichtstrahlen werden nun durch das brechende System so gebrochen, dafs sie schliefslich durch den zweiten Hauptbrennpunkt P_2 gehen. Es sei rw der Gang des Lichtstrahls st nach der letzten Brechung. Da st stets dem leuchtenden Punkt s angehört, mufs rw stets dem Bilde dieses Punktes angehören, d. h. das Bild von s mufs in rw liegen. Es sei fg das Bild von sp, welches nach dem Vorausgeschickten senkrecht gegen die Axe uv sein mufs. Wenn p sich längs der Axe verschiebt, wird sich auch f längs uv, und g längs rw verschieben, und es ist ersichtlich, dafs die Gröfse des Bildes fg sich hierbei proportional dem Abstande $P_2 f$ ändern mufs, wie dasselbe für eine einfache brechende Fläche oben in den Gleichungen 7c) ausgesprochen ist. Da ferner aus Gleichung 8) zu ersehen ist, dafs die Entfernung $P_2 f$ jeden beliebigen Werth zwischen $+\infty$ und $-\infty$ annehmen kann, so wird auch die Gröfse des Bildes, wenn wir die eines umgekehrten Bildes negativ bezeichnen, jeden zwischen diesen Grenzen liegenden Werth und einen jeden nur einmal annehmen können. Es wird also auch seinem Gegenstande sp an einer und nur an einer Stelle gleich werden müssen; es sei $c_1 b_1$ in diesem Falle der Gegenstand und $c_2 b_2$ das ihm gleiche Bild, so bezeichnen diese beiden Linien die Lage der sogenannten Hauptebenen des Systems.

Formeln für Gröfse und Lage der Bilder bezogen auf die Hauptpunkte und Brennpunkte.

Bezeichnen wir nun

$$sp = c_2 b_2 = \beta_1,$$
$$fg = -\beta_2,$$
$$b_1 P_1 = F_1, \qquad b_1 p = f_1,$$
$$b_2 P_2 = F_2, \qquad b_2 f = f_2,$$

so ist

$$\frac{c_2 b_2}{fg} = \frac{b_2 P_2}{P_2 f} \quad \text{oder}$$

$$-\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{F_2}{f_2 - F_2};$$

und da nach Gleichung 8):

$$\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1\,, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8a),$$

so erhält man entsprechend der für eine brechende Fläche geltenden Gleichung 6b) 54

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{F_2}{F_2 - f_2} = \frac{F_1 - f_1}{F_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 8b).$$

Nennen wir die Entfernung der zusammengehörigen Bilder von den Brennpunkten l_1 und l_2, so dafs also

$$l_1 = f_1 - F_1,$$
$$l_2 = f_2 - F_2,$$

so erhalten wir aus der Gleichung 8a) in derselben Weise die einfachste Form für das Gesetz der Lage der Bilder eines zusammengesetzten Systems, wie wir für die einer einzelnen Fläche aus Gleichung 3d) die 7b) erhalten haben, nämlich

$$l_1 \,.\, l_2 = F_1 \,.\, F_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8c),$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{\beta_1}{\beta_2} &= -\frac{l_1}{F_1} \\ \frac{\beta_2}{\beta_1} &= -\frac{l_2}{F_2} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8d).$$

Verhältnifs der beiden Brennweiten.

Um endlich das Verhältnifs der Gröfsen F_1 und F_2 zu finden, wenden wir das in der Gleichung 7d) ausgesprochene Gesetz auf den Strahl an, welcher vor der Brechung durch s und b_1, *Fig. 46*, nach der Brechung also durch b_2 und g geht.

Nennen wir die Gröfse eines in der ersten Hauptebene enthalten Bildes γ_1, die Reihe der Bilder, welche bei den einzelnen Brechungen in dem Systeme gebildet werden, γ_2, γ_3 etc. und γ_{m+1} das in der zweiten Hauptebene nach der letzten Brechung entworfene. Nach der Definition der Hauptebene ist $\gamma_1 = \gamma_{m+1}$. Nennen wir ferner α_1 den Winkel zwischen dem Strahl $s\,b_1$ und der Axe im ersten Mittel, α_2, α_3 u. s. w. in den folgenden Mitteln, α_{m+1} im letzten Mittel, so dafs

$$\angle\, s\, b_1 p = -\alpha_1,$$
$$\angle\, g\, b_2 f = -\alpha_{m+1}.$$

Nach der Gleichung 7d) ist

$$n_1 \cdot \gamma_1 \cdot tg\,\alpha_1 = n_2 \cdot \gamma_2 \cdot tg\,\alpha_2,$$
$$n_2 \cdot \gamma_2 \cdot tg\,\alpha_2 = n_3 \cdot \gamma_3 \cdot tg\,\alpha_3$$

u. s. w., woraus folgt

$$n_1 \cdot \gamma_1 \cdot tg\,\alpha_1 = n_{m+1} \cdot \gamma_{m+1} \cdot tg\,\alpha_{m+1} \quad \ldots\ldots \quad 9),$$

oder da $\gamma_1 = \gamma_{m+1}$, so ist

$$n_1 \,.\, tg\,\alpha_1 = n_{m+1} \cdot tg\,\alpha_{m+1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 9a).$$

Ferner ist mit Berücksichtigung der oben aufgestellten Bezeichnungen

$$sp = \beta_1 \quad = -f_1 . tg\, \alpha_2,$$
$$fg = -\beta_2 = -f_2 . tg\, \alpha_{m+1}, \quad \text{folglich}$$
$$\frac{n_1 . \beta_1}{f_1} = -\frac{n_{m+1} . \beta_2}{f_2};$$

Setzt man in diese Gleichung aus 8a) den Werth von f_2, so erhält man

$$\frac{n_1 . \beta_1}{f_1 - F_1} = -\frac{n_{m+1} . \beta_2}{F_2}$$

55 und nach 8b) ist

$$\frac{\beta_1}{f_1 - F_1} = -\frac{\beta_2}{F_1}.$$

Beide Gleichungen durch einander dividirt geben:

$$\frac{n_1}{n_{m+1}} = \frac{F_1}{F_2}, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 9c)$$

was zu beweisen war.

III.

In jedem optischen Systeme giebt es ein und nur ein Paar von Knoten-punkten, welche die Eigenschaft haben, dafs alle Lichtstrahlen, deren Richtun[g] im ersten Mittel durch den ersten Knotenpunkt geht, nach der letzten Brechun[g] eine ihrer früheren parallele Richtung haben, und durch den zweiten Knotenpunk[t] gehen. Die durch die Knotenpunkte senkrecht gegen die optische Axe gelegte[n] Ebenen heifsen die Knotenebenen. Da die im ersten Knotenpunkte sic[h] schneidenden Lichtstrahlen sich also nach der letzten Brechung im zweiten schneide[n], so ist der zweite offenbar das Bild des ersten. Die zu ihnen gehörigen Brenn-weiten verhalten sich umgekehrt wie die Brechungsverhältnisse des ersten un[d] letzten Mediums.

Wir gehen von der in der vorigen Nummer gefundenen Gleichung 9) aus:

$$n_1 . \gamma_1 . tg\, \alpha_1 = n_{m+1} . \gamma_{m+1} . tg\, \alpha_{m+1} \quad \ldots \ldots \quad 10)$$

Wenn wir diese auf die Knotenpunkte beziehen, soll $\alpha_1 = \alpha_{m+1}$ werden. Di[es] wird der Fall sein, wenn

$$n_1 . \gamma_1 = n_{m+1} . \gamma_{m+1}.$$

Die Lineardimensionen zweier zusammengehöriger in den Knotenebenen liege[n-]der Bilder verhalten sich also umgekehrt wie die zugehörigen Brechungsverhä[lt-]nisse des ersten und letzten Mittels.

Da die Bilder desselben Gegenstandes γ_1 sich verhalten wie ihre Abstän[de] vom zweiten Hauptbrennpunkte, so läfst sich dieser Abstand aus der Gröfse d[es] Bildes bestimmen. Fällt das Bild des Gegenstandes γ_1 in die zweite Hauptebe[ne,] so ist seine Gröfse auch gleich γ_1, sein Abstand vom Brennpunkte F_2; fällt es [in] die zweite Knotenebene, so ist seine Gröfse, wie eben bewiesen,

$$\gamma_{m+1} = \frac{n_1}{n_{m+1}} . \gamma_1 .$$

Sein Abstand vom Brennpunkte sei G_2, so ist

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_{m+1}} = \frac{F_2}{G_2}, \quad \text{also (9c)}$$

$$G_2 = \frac{n_1}{n_{m+1}} \cdot F_2 = F_1 \qquad \text{. . . . . 10a).}$$

Der Abstand zwischen der zweiten Haupt- und Knotenebene ist danach

$$\begin{aligned} a_2 &= F_2 - G_2 \\ &= F_2 - F_1 . \end{aligned}$$

Die erste Knotenebene soll das Bild der zweiten sein. Nennen wir ihren Abstand von der ersten Hauptebene a_1, so dafs

$$a_1 = G_1 - F_1 ,$$

so ergiebt die Gleichung 8a) 56

$$-\frac{F_1}{a_1} + \frac{F_2}{a_2} = 1, \quad \text{daher}$$

$$a_1 = a_2 = F_2 - F_1$$

$$G_1 = F_2 \text{ und} \qquad \text{. . . . . 10b)}$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{n_{m+1}}{n_1} \qquad \text{. . . . . 10c)}$$

Methoden, die Brenn-, Haupt- und Knotenpunkte eines aus zwei anderen zusammengesetzten centrirten Systems brechender Kugelflächen zu finden.

IV.

Es seien gegeben zwei centrirte optische Systeme A und B, welche dieselbe Axe haben. Es seien $p_,$ und $p_{,,}$, *Fig. 47*, die beiden Brennpunkte, $a_,$ und $a_{,,}$ die beiden Hauptpunkte des Systems A, $\pi_,$ und $\pi_{,,}$ die Brennpunkte, $\alpha_,$ und $\alpha_{,,}$ die Hauptpunkte von B. Der Abstand des ersten Hauptpunktes $\alpha_,$ des zweiten

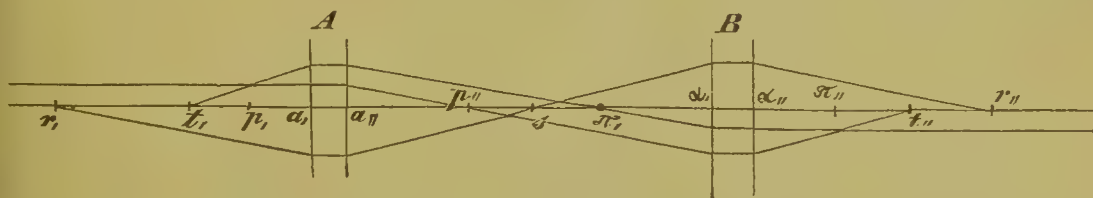


Fig. 47.

Systems vom zweiten $a_{,,}$ des ersten Systems sei d, und dies werde positiv gerechnet, wenn, wie in *Fig. 47*, $\alpha_,$ hinter $a_{,,}$ liegt. Die Hauptbrennweiten des ersten Systems $a_, p_,$ und $a_{,,} p_{,,}$ bezeichnen wir mit f_1 und f_2, die des zweiten $\alpha_, \pi_,$ und $\alpha_{,,} \pi_{,,}$ mit φ_1 und φ_2.

Der erste Brennpunkt des combinirten Systems ist offenbar das Bild, welches das System A vom ersten Brennpunkte $\pi_,$ des Systems B entwirft, Ist $t_,$ dieser Punkt, so ist klar, wie auch durch den in der Figur von t_1 ausgehenden Strahl angedeutet ist, dafs Strahlen, welche von $t_,$ ausgehen, nach der Brechung im ersten Systeme A in $\pi_,$ sich vereinigen und nach der Brechung im zweiten

parallel der Axe werden müssen, so dafs also $t_{,}$ der Definition des vorderen Brennpunkts entspricht. Die Entfernung $a_{,,}\,\pi_{,}$ ist gleich $d - \varphi_{,}$; daraus ergiebt sich für $a_{,}\,t_{,}$ der Werth

$$a_{,}\,t_{,} = \frac{(d-\varphi_1)\cdot f_1}{d-\varphi_1-f_2} \qquad \text{11a).}$$

Ebenso ist der zweite Brennpunkt des combinirten Systems das Bild, welches das zweite System B von dem zweiten Brennpunkte $p_{,,}$ des ersten Systems entwirft. Es sei $t_{,,}$ der Ort dieses Bildes, so ist

$$\alpha_{,,}\,t_{,,} = \frac{(d-f_2)\cdot\varphi_2}{d-\varphi_1-f_2} \qquad \text{11b).}$$

Die beiden Hauptpunkte des combinirten Systems sollen jeder des anderen Bild sein, und zwar bezieht sich der erste auf den Gang der Lichtstrahlen im ersten Medium, der zweite auf den im letzten. Die beiden Hauptpunkte müssen daher ein beiden gemeinsames Bild in dem mittleren Medium haben, was zwischen den beiden optischen Systemen vorhanden ist. Es sei dieses Bild s in *Fig. 47*, $r_{,}$ und $r_{,,}$ dagegen die Hauptpunkte des combinirten Systems. Wenn s das Bild von $r_{,}$, und $r_{,,}$ das Bild von s ist, so ist auch $r_{,,}$ das letzte Bild von $r_{,}$, und der ersten Bedingung für die beiden Hauptpunkte geschieht dadurch Genüge. Die
57 zweite Bedingung für diese Punkte ist die, dafs zusammengehörige Bilder in den Hauptebenen gleich grofs und gleich gerichtet seien. Es sei nun σ die Gröfse eines Objects in s, β_1 sein Bild entworfen vom System A in $r_{,}$, β_2 sein Bild entworfen vom System B in $r_{,,}$, und x gleich der Länge $a_{,,}\,s$, y gleich $s\,\alpha_1$, so ist nach 8b)

$$\frac{\beta_1}{\sigma} = \frac{f_2}{f_2-x}$$

$$\frac{\beta_2}{\sigma} = \frac{\varphi_1}{\varphi_1-y}.$$

Soll $\beta_1 = \beta_2$ sein, so mufs sein

$$\frac{f_2}{f_2-x} = \frac{\varphi_1}{\varphi_1-y} \quad \text{oder}$$

$$\frac{x}{f_2} = \frac{y}{\varphi_1} \qquad \text{11c)}$$

$$\text{oder} \quad \frac{a_{,,}\,s}{a_{,,}\,p_{,,}} = \frac{\alpha_{,}\,s}{\alpha_{,}\,\pi_{,}}.$$

Um also den Punkt im mittleren Medium zu finden, dessen Bilder die beiden Hauptpunkte sind, theile man die Entfernung zwischen dem zweiten Hauptpunkte des ersten und ersten Hauptpunkte des zweiten Systems in zwei Theile, welche sich verhalten wie die zu diesen Hauptpunkten gehörigen Hauptbrennweiten der beiden Systeme.

Da $x + y = d$ ist nach 11c)

$$\frac{x}{f_2} = \frac{d-x}{\varphi_1}$$

$$\frac{d-y}{f_2} = \frac{y}{\varphi_1}. \quad \text{Daraus folgt}$$

$$x = \frac{d \cdot f_2}{\varphi_1 + f_2}$$

$$y = \frac{d \cdot \varphi_1}{\varphi_1 + f_2}$$

Aus dem Werthe von x findet man die Entfernung $a_\prime r_\prime = h_1$ des ersten Hauptpunktes des combinirten Systems vor dem ersten Hauptpunkte des Systems A,

$$h_1 = \frac{x \cdot f_1}{x - f_2}$$

$$h_1 = \frac{d \cdot f_1}{d - \varphi_1 - f_2} \quad \text{. . . . . 11d).}$$

Ebenso die Entfernung $\alpha_{\prime\prime}\, r_{\prime\prime} = h_2$ des zweiten Hauptpunktes des combinirten Systems hinter dem zweiten Hauptpunkte des Systems B,

$$h_2 = \frac{\varphi_2 \cdot y}{y - \varphi_1}$$

$$h_2 = \frac{d \cdot \varphi_2}{d - \varphi_1 - f_2} \quad \text{. . . . . 11e).}$$

Daraus ergeben sich die Werthe F_1 und F_2 der Hauptbrennweiten des combinirten 58
Systems:

$$\left.\begin{aligned} F_1 &= a_\prime t_\prime - a_\prime r_\prime \\ &= \frac{\varphi_1 \cdot f_1}{\varphi_1 + f_2 - d} \\ F_2 &= \alpha_{\prime\prime} t_{\prime\prime} - \alpha_{\prime\prime} r_{\prime\prime} \\ &= \frac{\varphi_2 \cdot f_2}{\varphi_1 + f_2 - d} \end{aligned}\right\} \quad \text{. . . . . 11f).}$$

Hat man die Haupt- und Brennpunkte gefunden, so findet man die Knotenpunkte sehr leicht, da der Abstand des ersten Knotenpunktes vom ersten Brennpunkte gleich ist der zweiten Hauptbrennweite, der Abstand des zweiten Knotenpunktes vom zweiten Brennpunkte der ersten Hauptbrennweite.

V.

Will man nur die Knotenpunkte, nicht die Hauptpunkte suchen, so kann man ein ähnliches Verfahren einschlagen wie für die Hauptpunkte, wobei man die Bedingung benutzt, dafs die linearen Dimensionen zusammengehöriger Bilder in den Knotenebenen sich umgekehrt wie die Brechungsverhältnisse der betreffenden Media verhalten.

Es seien in *Fig. 47* jetzt $a_\prime$ und $a_{\prime\prime}$, $\alpha_\prime$ und $\alpha_{\prime\prime}$ nicht mehr die Hauptpunkte, sondern die Knotenpunkte der beiden Systeme A und B, $r_\prime$ und $r_{\prime\prime}$ die Knotenpunkte des combinirten Systems, ihr gemeinsames Bild im mittleren Medium der Punkt s, so dafs nun

$$\begin{aligned} a_\prime p_\prime &= f_2 & \qquad \alpha_\prime \pi_\prime &= \varphi_2 \\ a_{\prime\prime} p_{\prime\prime} &= f_1 & \qquad \alpha_{\prime\prime} \pi_{\prime\prime} &= \varphi_1 \\ a_{\prime\prime} s &= x & \qquad \alpha_\prime s &= y. \end{aligned}$$

Es ist

$$a_{,} r_{,} = \frac{x \cdot f_2}{x - f_1}$$

$$\alpha_{,,} r_{,,} = \frac{y \cdot \varphi_1}{y - \varphi_2}.$$

Ist nun σ die lineare Gröfse eines Objects im Punkte s des mittleren Medium, β_1 die seines vom System A in r_1 entworfenen Bildes, β_2 die seines vom System B in $r_{,,}$ entworfenen Bildes, so ist nach den bekannten Eigenschaften der Knotenpunkte

$$\frac{\beta_1}{\sigma} = \frac{a_{,} r_{,}}{x} = \frac{f_2}{x - f_1}$$

$$\frac{\beta_2}{\sigma} = \frac{\alpha_{,,} r_{,,}}{y} = \frac{\varphi_1}{y - \varphi_2}.$$

Da nun in den Knotenebenen, wenn n_1 das Brechungsverhältnifs des ersten n_2 des letzten, ν des mittleren Mittels ist, sein mufs

$$n_1 \cdot \beta_1 = n_2 \cdot \beta_2, \text{ so folgt, dafs}$$

$$\frac{n_1 \cdot f_2}{x - f_1} = \frac{n_2 \cdot \varphi_1}{y - \varphi_2}.$$

59 Nun ist aber

$$n_1 \cdot f_2 = \nu \cdot f_1$$

$$n_2 \cdot \varphi_1 = \nu \cdot \varphi_2, \text{ also}$$

$$\frac{f_1}{x - f_1} = \frac{\varphi_2}{y - \varphi_2} \quad \text{und}$$

$$\frac{x}{f_1} = \frac{y}{\varphi_2} \quad \text{oder}$$

$$\frac{a_{,,} s}{a_{,,} p_{,,}} = \frac{\alpha_{,} s}{\alpha_{,} \pi_{,}}.$$

Die entsprechende Gleichung hatten wir aber auch gefunden in 11c), als wir an genommen hatten, dafs die Punkte $a_{,}$, $a_{,,}$, $\alpha_{,}$, $\alpha_{,,}$, $r_{,}$ und $r_{,,}$ Hauptpunkte seien Zur Auffindung der Knotenpunkte des combinirten Systems verfährt man also ganz wie zur Auffindung seiner Hauptpunkte, nur dafs man dabei von den Knoten punkten der einzelnen Systeme, nicht von den Hauptpunkten ausgeht, und die z den Knotenpunkten gehörigen Brennweiten nimmt.

VI.

Wir wollen hier noch die Formeln für den einfachsten Fall hin schreiben, wo jedes der beiden verbundenen Systeme nur aus einer einzelnen Kugelfläche besteht. Es sei r_1 der Radius der ersten, r_2 der de zweiten Fläche, d ihr Abstand in der Axe von einander, n_1 das Brechungsverhältni des ersten, n_2 des zweiten, n_3 des dritten Mittels. Dann ist nach 3a) und 3b)

$$f_1 = \frac{n_1 \cdot r_1}{n_2 - n_1} \qquad \varphi_1 = \frac{n_2 \cdot r_2}{n_3 - n_2}$$

$$f_2 = \frac{n_2 \, r_1}{n_2 - n_1} \qquad \varphi_2 = \frac{n_3 \cdot r_2}{n_3 - n_2}$$

Setzen wir der Kürze wegen

$$n_2 . (n_3 - n_2) . r_1 + n_2 . (n_2 - n_1) . r_2 - (n_3 - n_2) . (n_2 - n_1) . d = N,$$

so sind die Hauptbrennweiten:

$$\left.\begin{aligned} F_1 &= \frac{n_1 . n_2 . r_1 . r_2}{N} \\ F_2 &= \frac{n_2 . n_3 . r_1 . r_2}{N} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 12),$$

die Entfernungen der Hauptpunkte h_1 und h_2 von den Flächen:

$$\left.\begin{aligned} h_1 &= \frac{n_1 . (n_2 - n_3) . d . r_1}{N} \\ h_2 &= \frac{n_3 . (n_1 - n_2) . d . r_2}{N} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 12a),$$

und die Entfernung der Hauptpunkte von einander ist

$$H = d . \frac{(n_2 - n_1) . (n_3 - n_2) . (r_1 - r_2 - d)}{N} \quad \ldots\ldots \quad 12b).$$

Für $d = 0$ wird $h_1 = h_2 = H = 0$

$$F_1 = \frac{n_1 . r_1 . r_2}{(n_3 - n_2) . r_1 + (n_2 - n_1) . r_2}$$

$$F_2 = \frac{n_3 . r_1 . r_2}{(n_3 - n_2) . r_1 + (n_2 - n_1) . r_2}$$

Setzen wir hierin $r_2 = r_1$, so erhalten wir 60

$$F_1 = \frac{n_1 . r_1}{n_3 - n_1}$$

$$F_2 = \frac{n_3 . r_1}{n_3 - n_1}$$

Die Brennpunkte und Hauptpunkte sind dann also genau dieselben, als wäre nur eine brechende Fläche vorhanden; das Resultat ist unabhängig von n_2. Daraus folgt:

In einem Systeme von brechenden Kugelflächen können wir uns an jeder brechenden Fläche eine unendlich dünne, durch concentrische Kugelflächen begrenzte Schicht von beliebigem Brechungsverhältnisse eingeschoben denken, ohne die Brechung der Strahlen dadurch zu ändern.

Es wird uns dieser Satz später zur Vereinfachung mancher Betrachtungen dienen.

VII.

Linsen. Endlich will ich noch die Formeln für Linsen mit zwei kugeligen Begrenzungsflächen hersetzen, bei denen das erste und letzte Mittel einander gleich sind, also $n_1 = n_3$. Dann ergiebt Gleichung 12):

$$F_1 = F_2 = \frac{n_1 . n_2 . r_1 . r_2}{(n_2 - n_1) . [n_2 . (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) . d]} \quad \ldots \quad 13).$$

Die Entfernungen der Hauptpunkte, welche in diesem Falle mit den Knotenpunkten zusammenfallen, von den Linsenflächen sind nach 12a)

$$\left.\begin{aligned} h_1 &= \frac{n_1 . d . r_1}{n_2 . (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) . d} \\ h_2 &= - \frac{n_1 . d . r_2}{n_2 . (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) . d} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad 13a).$$

Die Entfernung der Hauptpunkte von einander:

$$H = d \cdot \frac{(n_2 - n_1) . (d + r_2 - r_1)}{n_2 . (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) . d} \quad \ldots \quad 13b).$$

Die beiden ersten sind positiv gerechnet, wenn sie aufserhalb der Linse liegen.

Den Punkt in der Linse, dessen Bilder die beiden Knotenpunkte sind, nennt man in diesem Falle das optische Centrum der Linse. Es liegt in der optischen Axe, und seine Entfernungen von den beiden Flächen verhalten sich zu einander wie die Radien dieser Flächen.

Substitution verschiedener optischer Systeme für einander.

Da die Resultate der Brechung in einem optischen Systeme, was Gröfse und Lage der Bilder betrifft, nur von der Lage der Brennpunkte und Hauptpunkte (oder Knotenpunkte) abhängen, so kann man ohne Aenderung der Lage und Gröfse der Bilder zwei optische Systeme für einander substituiren, deren Brennpunkte und Hauptpunkte dieselbe Lage haben. Da das Verhältnifs des Brechungsvermögens des ersten und letzten Mittels nicht geändert werden kann, ohne das Verhältnifs der Hauptbrennweiten zu einander zu ändern, wollen wir voraussetzen, dafs das erste und letzte Mittel bei einer solchen Substitution ungeändert bleiben. Dann braucht nur die eine Hauptbrennweite und der Abstand der Hauptpunkte von einander in dem einen System gleich den entsprechenden Gröfsen des anderen gemacht zu werden, um die beiden Systeme für einander substituiren zu können. In einem Systeme von nur zwei brechenden Flächen würde man zur Erfüllung dieser Bedingungen über 4 Gröfsen, r_1, r_2, n_2 und d, bestimmen können. Es kann daher für jedes centrirte System brechender Kugelflächen ein System von
61 nur zwei solchen Flächen gesetzt werden, welches eben so grofse und eben so gelegene Bilder entwirft wie jenes, und im Allgemeinen kann man dabei sogar noch immer zwei andere Bedingungen für das System von zwei Flächen aufstellen, z. B. dafs es aus einem bestimmten Stoffe zu bilden sei u. s. w., und diese gleichzeitig erfüllen.

Für den Fall, wo das erste und letzte Mittel identisch sind, beide ein kleineres Brechungsvermögen haben als das mittlere Mittel, und der Abstand der brechenden Flächen kleiner ist als die Krümmungsradien, also für die sogenannten Linsen, will ich hier noch die einzelnen Fälle durchgehen, weil dergleichen Linsen eine ausgedehnte praktische Anwendung finden.

Verschiedene Arten der Linsen.

Man unterscheidet nach der Gestalt 1) biconvexe Linsen, bei denen beide Flächen convex, also r_1 positiv, r_2 negativ ist; die Brennweite ist immer positiv nach Gleichung 13). Die Abstände der Hauptpunkte von den Flächen sind negativ, d. h. diese Punkte liegen innerhalb der Linse, und der Abstand der Hauptpunk-

von einander ist positiv, d. h. der erste liegt vor dem zweiten. In *Fig. 48* ist die Lage der Brennpunkte p_1 und p_2 und Hauptpunkte h_1 und h_2 einer biconvexen Linse dargestellt. Die erste und zweite Fläche der Linse sind mit 1 und 2 bezeichnet. Ein Grenzfall der biconvexen Linsen sind die planconvexen, bei denen einer der Radien unendlich grofs wird, und ein Hauptpunkt in die gekrümmte Fläche der Linse fällt.

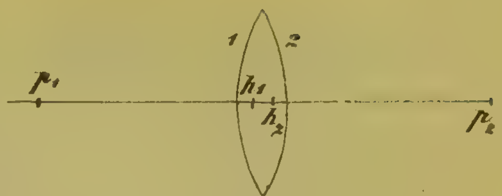


Fig. 48.

2) Biconcave Linsen mit zwei concaven Flächen; r_1 ist negativ, r_2 positiv. Die Brennweiten sind negativ, die Abstände der Hauptpunkte von den Flächen beide negativ, d. h. die Hauptpunkte liegen innerhalb der Linse. Ihr Abstand ist positiv, d. h. der erste liegt vor dem zweiten. *Fig. 49* stellt die Lage der Hauptpunkte h_1 und h_2, sowie der Brennpunkte p_1 und p_2 einer biconvexen Linse dar. Einen Grenzfall bilden die planconcaven Linsen, bei denen einer der Radien unendlich wird und einer der Hauptpunkte in die gekrümmte Fläche fällt.

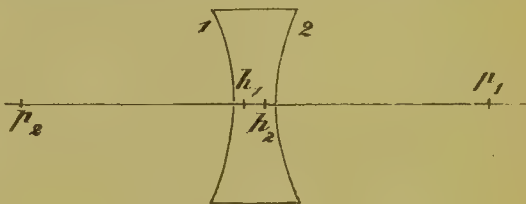


Fig. 49.

3) Concavconvexe Linsen, beide Radien entweder positiv oder negativ. Wir wollen das erstere annehmen; der zweite Fall ergiebt sich aus diesem sogleich, wenn wir nachher die erste Seite der Linse zur zweiten machen. Die Brennweite wird positiv, wenn

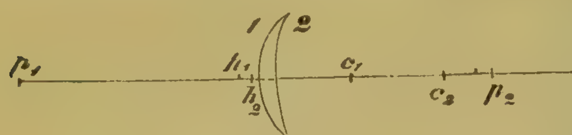
$$n_2 \cdot (r_2 + d - r_1) > n_1 \cdot d;$$

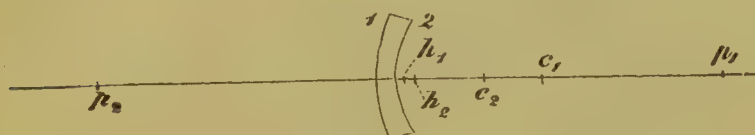
sie wird unendlich, wenn beide Seiten der Gleichung gleich sind; sie wird negativ, wenn der Ausdruck links kleiner als der rechts ist. Der Ausdruck $r_2 + d - r_1$ ist der Abstand des Krümmungsmittelpunkts der zweiten Fläche von dem der ersten nach hinten gerechnet. Liegt der zweite Mittelpunkt hinter dem ersten, so wird die Linse von ihrer Mitte nach dem Rande zu dünner; liegt jener vor dem ersten, so wird sie dicker. Man kann also sagen: Wird eine concavconvexe Linse nach dem Rande zu dicker, so ist ihre Brennweite negativ, und soll ihre Brennweite positiv sein, so mufs sie nach dem Rande hin dünner werden. Aber man darf beide Sätze nicht umkehren, wie es oft geschieht.

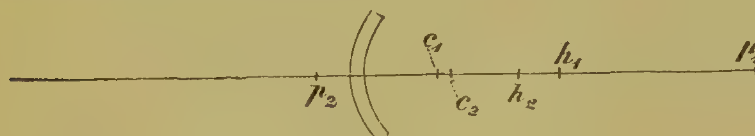
Der erste Hauptpunkt liegt vor der convexen Fläche (d. h. an ihrer convexen Seite), wenn die Brennweite positiv ist; er entfernt sich sehr weit, bis in das Unendliche, wenn die Brennweite selbst sehr grofs und unendlich wird. Wird die Brennweite negativ, so liegt der erste Hauptpunkt hinter der convexen Fläche der Linse, d. h. auf ihrer concaven Seite, ebenfalls unendlich weit entfernt, wenn die 62
Brennweite unendlich sein sollte.

Der zweite Hauptpunkt liegt vor der concaven Fläche der Linse, d. h. auf ihrer convexen Seite, wenn die Brennweite der Linse positiv, er liegt hinter dieser Fläche, wenn die Brennweite negativ ist, und rückt ebenfalls in das Unendliche hinaus, wenn die Brennweite unendlich grofs wird. Bei einer positiven Brennweite liegt der zweite Hauptpunkt immer hinter dem ersten, d. h. der Linse näher. Bei einer negativen liegt er hinter dem ersten, d. h. der Linse ferner,

wenn die Linse nach ihrem Rande zu dicker wird; er liegt dagegen vor dem ersten, wenn die Linse bei negativer Brennweite von der Mitte nach dem Rande dünner wird; er fällt mit ihm zusammen, wenn die beiden Linsenflächen concentrischen Kugeln angehören, und zwar liegen beide Hauptpunkte dann in dem gemeinschaftlichen Centrum der Kugel. *Fig. 50* stellt eine concavconvexe Linse von positiver Brennweite dar, *Fig. 51* eine solche von negativer Brennweite, die nach dem Rande zu dicker wird, *Fig. 52* eine solche von negativer Brennweite, welche nach dem Rande zu dünner wird. Der Krümmungsmittelpunkt der ersten Fläche ist mit c_1, der der zweiten mit c_2 bezeichnet. Ich bemerke noch, daſs die Brennpunkte nie in die Linse und stets auf entgegengesetzte Seiten derselben fallen.


Fig. 50.


Fig. 51.


Fig. 52.

Was die Lage der Bilder betrifft, so vereinfacht sich die Gleichung 8a) und 8b), wenn die beiden Brennweiten gleich werden, in folgende:

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}, \text{ oder} \qquad 14)$$

$$f_2 = \frac{F \cdot f_1}{f_1 - F}, \qquad 14a)$$

und

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{F}{F - f_1} = \frac{F - f_2}{F}, \qquad 14b)$$

Oder, wenn wir wie oben

$$f_1 - F = l_1$$
$$f_2 - F = l_2$$

setzen, erhalten wir den Gleichungen 7c) entsprechend

$$-\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{l_1}{F} = \frac{F}{l_2} \qquad 14c)$$

und

$$l_1 \cdot l_2 = F^2 \qquad 14d)$$

Hiernach ist die Brennweite F der Linse in allen Fällen die mittlere geometrische Proportionale zwischen den beiden Bildabständen von den Brennpunkten l_1 und l_2. Ebendeshalb muſs von den letztern einer nothwendig gröſser als F, der andere kleiner sein, wenn nicht beide gleich $+F$ oder gleich $-F$ sind. Auch ergiebt sich, daſs l_1 und l_2 immer gleichzeitig positiv oder negativ sein müssen, d. h. wenn das Object vor dem ersten Brennpunkte liegt, liegt das Bild hinter dem zweiten, und umgekehrt.

Bei Linsen mit positiver Brennweite (Sammellinsen, Convexlinsen) liegt der erste Brennpunkt vor der Linse, der zweite dahinter. Positives l_1 bezeichnet also eine Entfernung des Objects von der Linse, die noch gröfser als die des ersten Brennpunkts ist, während das Bild hinter der Linse weiter entfernt als der zweite Brennpunkt liegt und nach 14 c) umgekehrt ist.

Dabei ist die Entfernung l_2 wie die Bildgröfse β_2 umgekehrt proportional der Entfernung l_1 des Objects vom ersten Brennpunkte; l_2 wird gleich l_1 und $\beta_2 = -\beta_1$, wenn $l_1 = F$, d. h. das Object um die doppelte Brennweite von der Linse absteht.

Für ein negatives l_1, welches absolut kleiner als F ist, liegt das Object zwischen erstem Brennpunkt und Linse; das virtuelle und aufrechte Bild vor der Linse, da l_2 nun auch negativ, aber, absolut genommen, gröfser als F sein mufs; das Bild ist vergröfsert. Dies entspricht dem Falle, wo die Linse als Loupe gebraucht wird.

Für $l_1 = -F$ fallen Object und Bild gleich grofs und aufrecht im optischen Centrum der Linse zusammen.

Für $-l_1 > F$ liegt das nunmehr virtuelle Object hinter der Linse, und da nun $-l_2 < F$ sein mufs, das wieder reelle, aufrechte, verkleinerte Bild zwischen der Linse und ihrem zweiten Brennpunkte.

Für Linsen mit negativer Brennweite (Concavlinsen, Zerstreuungslinsen) liegt der erste Brennpunkt hinter der Linse, der zweite davor.

Der Fall $l_1 > (-F)$ giebt eine Lage des Objects vor der Linse. Dabei wird nach 14c) und 14d) $l_2 < (-F)$, d. h. das Bild liegt vor der Linse, ist also virtuell, aufrecht verkleinert.

Der Fall $l_1 = -F$, macht Object und Bild aufrecht und gleich grofs im Centrum der Linse zusammenfallen.

Der Fall, wo ein positives $l_1 < (-F)$, entspricht einem virtuellen Bilde hinter der Linse zwischen ihr und dem hinter ihr liegenden Brennpunkte. Dann ist $l_2 > (-F)$, d. h. das Bild liegt hinter der Linse, ist also reell, dabei aufrecht, um so mehr vergröfsert, je näher das virtuelle Object an den virtuellen Brennpunkt rückt.

Endlich, wenn l_1 negativ wird, d. h. das virtuelle Object hinter dem virtuellen Brennpunkt liegt, wird auch l_2 negativ, d. h. das virtuelle Bild ist weiter vor der Linse gelegen, als ihr vorderer (zweiter) Brennpunkt, und ist umgekehrt. Das ist der Fall, der in dem Galilei'schen Fernrohre eintritt.

§ 10. Brechung der Strahlen im Auge.

Das Auge verhält sich gegen das einfallende Licht im Wesentlichen 64
wie eine *Camera obscura.* Das von einem leuchtenden Punkte ausgegangene Licht mufs, wenn dieser Punkt deutlich gesehen werden soll, durch die brechenden Mittel des Auges so gebrochen werden, dafs Alles auch wieder auf einem Punkte der Netzhaut vereinigt wird. Auf der Fläche dieser Haut wird in der That ein reelles optisches Bild der äufseren gesehenen Gegenstände entworfen. Dasselbe ist umgekehrt und verkleinert. Man kann es an frisch ausgeschnittenen Augen sichtbar machen, wenn man vorsichtig den hinteren mittleren Theil der Sclerotica und Chorioidea entfernt, die Netzhaut aber stehen läfst, und nun die Hornhaut eines so präparirten Auges gegen

helle Gegenstände kehrt. Das Bild erscheint alsdann klein, hell, scharf und wie angegeben, umgekehrt auf der stehengebliebenen Netzhaut. Noch besser ist das Bildchen nach der Methode von Gerling[1] zu sehen, wenn man die Elemente der Netzhaut mit einem Pinsel entfernt, und dann ein Täfelchen von Glas oder Glimmer in die Öffnung einschiebt. Ohne viele Mühe kann man die Netzhautbildchen auch in den Augen weifser Kaninchen sehen, denen das Pigment der Aderhaut fehlt. Bei diesen braucht man nicht ein-
65 mal die harte Haut zu entfernen, sondern sieht das Bild durch sie hindurchscheinen, allerdings nicht so scharf wie bei freigelegter Netzhaut, aber doch deutlich genug, um seine Stellung, Gröfse u. s. w. zu erkennen. Auch ist es bei lebenden Menschen, namentlich bei blonden Personen mit hellblauen Augen, welche wenig Pigment in der Aderhaut zu haben pflegen, zuweilen möglich, das Bild durch die harte Haut hindurch zu sehen. Man läfst einen solchen in einem verdunkelten Zimmer das Auge so drehen, dafs die Hornhaut im äufseren Augenwinkel steht, und in dem gröfseren mittleren und inneren Theile der Augenlidspalte daher die innere Seite der weifsen Sehnenhaut erscheint. Hält man dann noch weiter seitlich, als die seitlich gekehrte Sehaxe steht, eine Kerzenflamme, so erscheint deren Bild auf der inneren Seite der Netzhaut, und schimmert oft so deutlich durch die weifse Sehnenhaut hindurch, dafs man die umgekehrte Stellung des Bildes, die Spitze der Flamme und den Ort des Dochtes erkennen kann[2].

Die genaueste Untersuchung der Netzhautbildchen im lebenden Auge des Menschen ist mittels des im § 16 zu beschreibenden Augenspiegels möglich. Mit diesem Instrumente kann man von vorn in das Auge hineinblicken, und die Netzhaut selbst mit ihren Gefäfsen, sowie die auf ihr entworfenen optischen Bilder deutlich sehen. Man überzeugt sich leicht davon, dafs von hinreichend hellen Objecten, welche das beobachtete Auge deutlich sieht, sehr scharfe und genau begrenzte optische Bilder auf der Fläche der Netzhaut entworfen werden.

Bei der Beschreibung der Netzhaut habe ich schon erwähnt, dafs im Hintergrunde des Auges sich eine eigenthümlich gebaute Stelle der Netzhaut finde, der gelbe Fleck. In seiner Mitte, der sogenannten Netzhautgrube, fehlen die Gefäfse, welche sich in den übrigen Theilen der Netzhaut verästeln; hier finden sich nur nervöse Elemente vor, und zwar von den Schichten der Netzhaut, wie es scheint, nur Körnchen und Zapfen. Diese Stelle ist in physiologischer Hinsicht von der gröfsten Wichtigkeit als die Stelle des directen Sehens. Derjenige Punkt des Gesichtsfeldes, welchen wir direct betrachten, oder mit dem Blicke fixiren, wird jedesmal an dem Orte der Netzhautgrube abgebildet. Mittels des Augenspiegels kann dieser Satz, von dessen Richtigkeit man sich schon längst wegen der besonderen Structur des gelben Flecks überzeugt hielt, auch durch directe Beobachtungen erwiesen werden. Den Ort des gelben Flecks erkennt man mit dem Augen-

[1] C. L. Gerling, *Poggendorff's Ann.* XLVI. 243. 1839.
[2] Volckmann, Artikel: Sehen in Wagners *Handwörterbuch der Physiologie.* S. 286—289.

spiegel, wenn die ganze Netzhaut erleuchtet ist, an dem Mangel der Gefäfse. In der Mitte der gefäfslosen Stelle, entsprechend dem Orte der Netzhautgrube, findet sich eine eigenthümlich helle Stelle, welche COCCIUS [1] zuerst beschrieben hat, und deren Helligkeit er einem Reflexe der Netzhautgrube zuschreibt. DONDERS [2] hat ferner gezeigt, dafs dieser helle Reflex stets an derjenigen Stelle des optischen Bildes erscheint, welche das beobachtete Auge im Gesichtsfelde fixirt, und ich habe mich von der Richtigkeit dieser Angabe überzeugt. Man kann nach der Stellung des sogenannten Reflexes der Netz- 66
hautgrube dem beobachteten Individuum genau bezeichnen, welchen Punkt es fixirt, und wenn man ihm Anweisung giebt, bald diesen, bald jenen Punkt des Gegenstandes zu fixiren, sieht man den Reflex immer auf den entsprechenden Punkt des Bildes sich einstellen. Die Ausführung dieser Versuche wird in § 16 beschrieben werden.

Nur in der Gegend der Augenaxe pflegt das optische Bild auf der Netzhaut seine volle Schärfe zu haben, von ihr entfernter ist es weniger gut begrenzt. Wir sehen deshalb im Gesichtsfelde in der Regel nur den einen Punkt deutlich, welchen wir fixiren, alle übrigen undeutlich. Diese Undeutlichkeit im indirecten Sehen ist übrigens auch durch eine geringere Empfindlichkeit der Netzhaut bedingt; sie ist schon in geringer Entfernung von dem fixirten Punkte viel bedeutender als die objective Undeutlichkeit der Netzhautbilder. Das Auge stellt ein optisches Werkzeug von sehr grofsem Gesichtsfelde dar, aber nur in einer kleinen, sehr engbegrenzten Stelle dieses Gesichtsfeldes sind die Bilder deutlich. Das ganze Feld entspricht einer Zeichnung, in der zwar der wichtigste Theil des Ganzen sorgfältig ausgeführt, die Umgebungen aber nur skizzirt, und zwar desto roher skizzirt sind, je weiter sie von dem Hauptgegenstande abstehen. Durch die Beweglichkeit des Auges wird es aber möglich, nach einander jeden einzelnen Punkt des Gesichtsfeldes genau zu betrachten. Da wir zu einer Zeit doch nur einem Gegenstande unsere Aufmerksamkeit zuwenden können, ist der eine deutlich gesehene Punkt ausreichend, sie vollständig zu beschäftigen, so oft wir sie auf Einzelheiten lenken wollen; und wiederum ist das grofse Gesichtsfeld trotz seiner Undeutlichkeit geeignet, die Hauptzüge der ganzen Umgebung mit einem schnellen Blicke aufzufassen, und neu auftauchende Erscheinungen an den Seiten des Gesichtsfeldes sogleich zu bemerken.

Das Gesichtsfeld eines einzelnen Auges wird bestimmt durch die Weite der Pupille und ihre Lage zum Rande der Hornhaut. Ich finde, dafs ich in einem dunklen Zimmer, wenn ich mein Auge in einem Spiegel besehe, und seitlich ein Licht aufstelle, die Anwesenheit des Lichts so lange noch wahrnehme, als Strahlen von dem Lichte auf den gegenüberliegenden Rand der Pupille und in diese selbst fallen. Alles Licht also, was durch die Hornhaut in die Pupille fällt, wird noch empfindliche Theile der Netzhaut treffen. Die Pupille liegt zwar etwas weiter zurück als der äufsere Horn-

[1] A. COCCIUS, *Ueber die Anwendung des Augenspiegels.* Leipzig 1853. S. 64.

[2] F. C. DONDERS, *Onderzoekingen gedaan in het Physiolog. Laborat. d. Utrechtsche Hoogeschool.* Jaar VI. S. 133.

hautrand, aber wegen der Brechung in der Hornhaut können selbst noch Strahlen zu ihr gelangen, welche senkrecht gegen die Augenaxe verlaufend auf den Rand der Hornhaut fallen, so dafs das Gesichtsfeld eines einzelnen Auges etwa einer halben Kugel entspricht, eine Gröfse, welche keinem künstlichen optischen Instrumente zukommt. Individuelle Verschiedenheiten müssen darin vorkommen, abhängig von der Weite und Lage der Pupille. Da beim Sehen für die Nähe die Pupille sich der Hornhaut nähert, wird das Gesichtsfeld dabei etwas gröfser, wie ich an meinen Augen wenigstens leicht erkennen kann, wenn ich am äufsersten Rande des Gesichtsfeldes ein recht helles Licht anbringe.

Ein Theil des Gesichtsfeldes jedes einzelnen Auges nach innen, oben und unten wird durch Theile des Antlitzes, Nase, Augenbrauenrand, Wangen, eingenommen, nur nach aufsen hin ist es ganz frei [1]. Beide Augen zusammen
67 überschauen aber, wenn ihre Axen parallel in die Ferne gerichtet sind, einen horizontalen Bogen von 180 oder mehr Graden, jedes einzelne bis 150°. Vergröfsert wird das überschaubare Feld noch durch die Bewegungen der Augen, auf welche wir später zurückkommen.

Die Lichtstrahlen, welche von einem entfernteren leuchtenden Punkte auf das Auge fallen, werden zuerst von der Hornhaut gebrochen, und zwar so, dafs sie ungestört weitergehend sich etwa 10 mm hinter der Netzhaut in einem Punkte vereinigen würden. Indem sie somit convergirend durch die vordere Augenkammer gehen, treffen sie auf die Krystallinse, werden von dieser noch convergenter gemacht, und können in Folge dessen nun schon auf der Netzhaut zur Vereinigung gelangen.

Die stärksten Brechungen der Lichtstrahlen geschehen an der Hornhaut, demnächst an der vorderen und hinteren Fläche der Krystallinse. Aber auch im Inneren der Krystallinse finden an den Grenzen ihrer einzelnen Schichtflächen Brechungen statt, da diese Schichten von verschiedener Dichtigkeit sind. Wir können diese verschiedenen brechenden Flächen annähernd gleichsetzen einem System von Rotationsflächen, deren Axen alle in eine gerade Linie zusammenfallen. Wenn auch kleine Abweichungen in der Lage der Axen der einzelnen Flächen bei den meisten menschlichen Augen vorzukommen scheinen, so sind diese doch so gering, dafs wir sie in Bezug auf die Lage und Gröfse der optischen Bilder vernachlässigen und das Auge im Ganzen als ein centrirtes optisches System betrachten können.

Die Axe dieses Systems, deren vorderes Ende etwa mit dem Mittelpunkte der Hornhaut zusammenfällt, während das hintere zwischen dem gelben Flecke und der Eintrittsstelle des Sehnerven hindurchgeht, nennen wir die Augenaxe.

---

[1] Instrumente zur Ausmessung der Grenzen des Gesichtsfeldes, Perimeter, werden jetzt von den Augenärzten viel gebraucht. Sie sind theils ebene Tafeln mit verschiebbaren Gesichtszeichen, vor denen der Kopf festgestellt wird, wie die von Wecker (*Zehender's Monatsbl.* 1867 p. 275) und Dor construirten, theils drehbare Gradbogen wie die von Aubert und Förster (*Graefe's Archiv f. Ophthalmol.* III. 1857), Landolt (*Annali d'Ottalmologia del prof. Quaglino.* 1872. p. 1), Carter (*Zehender's Monatsbl.* 1872) theils halbe Hohlkugeln, wie die von Schenk (ebenda 1872. X. S. 151.)

Die Lage der Brennpunkte, Hauptpunkte und Knotenpunkte des Auges unterliegt wohl ziemlich bedeutenden individuellen Verschiedenheiten, da überhaupt die meisten Abmessungen des Auges und seiner einzelnen brechenden Flächen bei verschiedenen Menschen so von einander abweichen, wie man es bei einem Organe, dessen Wirkungen eine so grofse Genauigkeit der Construction zu verlangen scheinen, kaum erwarten sollte. Aufserdem werden wir weiter unten sehen, dafs auch in jedem einzelnen Auge diese Punkte ihre Lage ändern, wenn das Auge nach einander Gegenstände in verschiedener Entfernung betrachtet. Man kann über die Lage der genannten Punkte im normalen, fernsehenden Auge nur etwa so viel sicher aussagen: Der erste Hauptpunkt ist dem zweiten Hauptpunkte sehr nahe, ebenso der erste dem zweiten Knotenpunkte. Die beiden Hauptpunkte des Auges liegen etwa in der Mitte der vorderen Augenkammer, die beiden Knotenpunkte sehr nahe der hinteren Fläche der Linse, der zweite Brennpunkt dicht an der Netzhaut.

Da es bei sehr vielen Gelegenheiten nothwendig ist, wenigstens angenäherte Werthe für die einzelnen optischen Constanten des Auges zu kennen, so will ich hier die Werthe anführen, welche Listing für ein schematisches mittleres Auge gewonnen hat, indem er, den bis dahin ausgeführten Messungen sich möglichst anschliefsend, einfache abgerundete Zahlen für die hier in Betracht kommenden Gröfsen wählte. Eine den neueren Messungen besser angepafste Berechnung eines schematischen Auges folgt in § 12.

Listing nimmt an 68

1) das Brechungsvermögen der Luft gleich 1
2) das Brechungsvermögen der wässrigen Feuchtigkeit . . . . $\frac{103}{77}$
3) Brechungsvermögen der Krystallinse . . . . $\frac{16}{11}$
4) Brechungsvermögen des Glaskörpers . . . . $\frac{103}{77}$
5) Krümmungshalbmesser der Hornhaut . . . . 8 mm
6) Krümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche . . . . 10 „
7) Krümmungshalbmesser der hinteren Linsenfläche . . . . 6 „
8) Entfernung der vorderen Hornhaut- und vorderen Linsenfläche 4 „
9) Dicke der Linse . . . . 4 „

Er berechnet aus diesen Annahmen:

1) Der erste Brennpunkt liegt 12,8326 mm vor der Hornhaut, der zweite Brennpunkt 14,6470 mm hinter der Hinterfläche der Linse.
2) Der erste Hauptpunkt liegt 2,1746 mm, der zweite 2,5724 mm hinter der Vorderfläche der Hornhaut, ihr gegenseitiger Abstand beträgt 0,3978 mm.
3) Der erste Knotenpunkt liegt 0,7580 mm, der zweite 0,3602 mm vor der Hinterfläche der Linse.

4) Die erste Hauptbrennweite des Auges beträgt hiernach 15,0072 mm, die zweite 20,0746 mm.

Die Lage der Hauptpunkte $h_{,}$ und $h_{,,}$, Knotenpunkte $k_{,}$ und $k_{,,}$, Brennpunkte $F_{,}$ und $F_{,,}$ nach Listing ist in *Fig. 53* angegeben. Unter den von
n Listing der Berechnung zu Grunde gelegten Werthen ist der Hornhautradius und das Brechungs-Vermögen der Linse etwas zu groſs angenommen. Beide nicht erheblichen Fehler compensiren sich bei der Berechnung der Brennweite des ganzen Auges, also in dem Endergebnisse der ganzen Brechung. Auf die Lage der Haupt- und Knotenpunkte hat dies sehr wenig Einfluſs. Wir brauchen also nicht zu zweifeln, daſs Listing's in runden Zahlen gegebenes
69 Schema mit dem natürlichen Verhältnisse wirklich so gut übereinstimmt, als es bei der groſsen Breite der individuellen Unterschiede möglich ist.

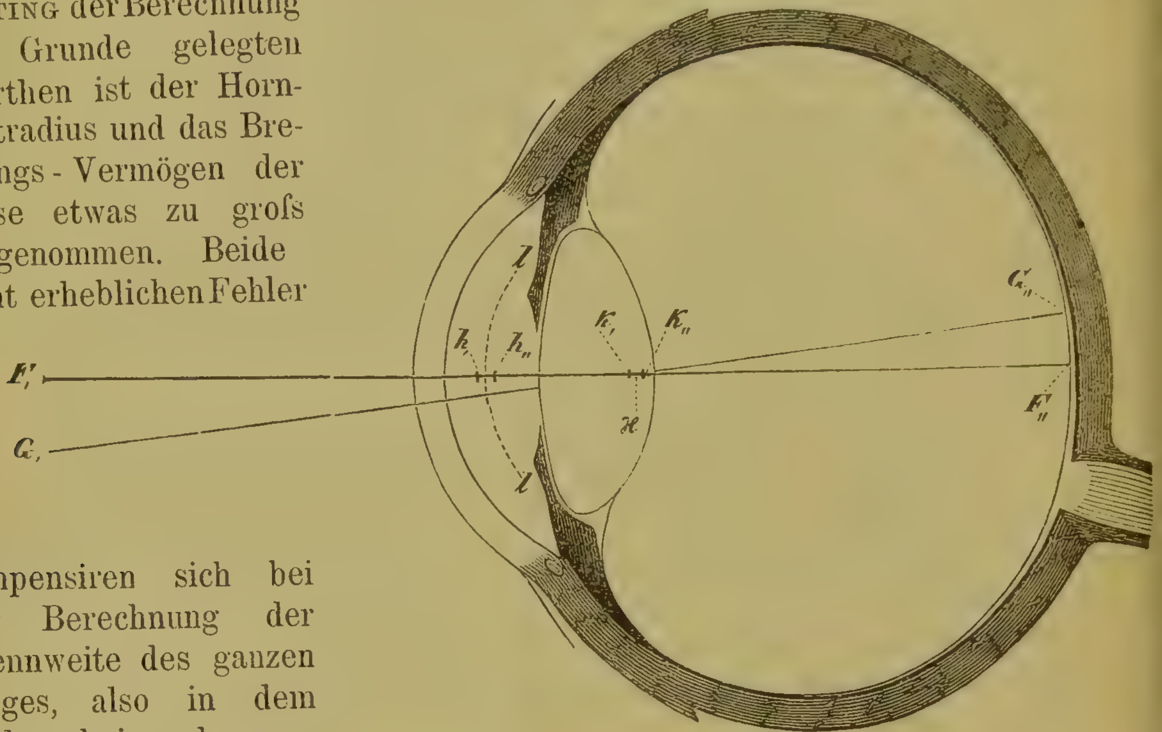


Fig. 53.

Vermittelst der angegebenen Cardinalpunkte des Auges läſst sich der Weg eines gegebenen einfallenden Strahls nach der letzten Brechung vermöge der in § 9 vorgeschriebenen Constructionen finden; ebenso der Ort des Bildes eines beliebigen, in der Nähe der Augenaxe liegenden leuchtenden Punktes. Da übrigens sowohl die beiden Hauptpunkte des Auges, als auch die beiden Knotenpunkte einander sehr nahe liegen, so kann man ohne erhebliche Beeinträchtigung der Genauigkeit des Resultats die beiden Hauptpunkte in einen Punkt zusammenziehen und ebenso die beiden Knotenpunkte. Man erhält dadurch ein noch mehr vereinfachtes Schema des Auges, welches Listing das reducirte Auge nennt. Er legt den einfachen Hauptpunkt eines solchen Auges 2,3448 mm hinter die Vorderfläche der Hornhaut, den Knotenpunkt $\varkappa$ *Fig. 53* 0,4764 mm vor die hintere Fläche der Linse, die Brennpunkte bleiben unverändert. Die Wirkung des reducirten Auges würde durch eine brechende Kugelfläche hervorgebracht werden können, deren Mittelpunkt der Knotenpunkt wäre, und deren Scheitel im Hauptpunkt läge, während sich vor ihr Luft, hinter ihr wässrige Feuchtigkeit oder Glaskörper

befände. Der Krümmungshalbmesser einer solchen Fläche würde 5,1248 mm betragen. Bei vielen theoretischen Betrachtungen, wo es nur auf die Gröfse und Lage der Bilder ankommt, kann man sich durch Anwendung dieses reducirten Schemas des Auges die Untersuchung sehr erleichtern. In *Fig. 53* ist die brechende Kugelfläche des reducirten Auges durch den gestrichelten Bogen *l l*, ihr Mittelpunkt bei *x* angegeben.

In dem sehr häufig vorkommenden Falle, wo man weifs, dafs genaue optische Bilder auf der Netzhaut entworfen werden, und es nur darauf ankommt, den Ort des Bildes für einen bestimmten Punkt des Gegenstandes zu finden, genügt die Kenntnifs der Knotenpunkte. Erlaubt man sich dabei die Vereinfachung, nur einen (und zwar als solchen am besten den zweiten) Knotenpunkt anzunehmen, so findet man den Ort des Bildes, wenn man von dem leuchtenden Punkte eine gerade Linie nach dem Knotenpunkte zieht, und diese bis zur Netzhaut verlängert; wo sie die Netzhaut trifft, ist der Ort des Bildes. Eine solche gerade Linie nennt man Richtungslinie des Sehens. Der einfach gedachte Knotenpunkt ist also der Kreuzungspunkt der Richtungslinien. Das vor der Hornhaut und das hinter der Linse liegende Stück einer solchen Linie würde zugleich dem Wege eines gewissen Strahls angehören, den man Richtungsstrahl nennen kann. Nur zwischen der vorderen Hornhaut- und hinteren Linsenfläche fällt der Richtungsstrahl nicht nothwendig mit der Richtungslinie zusammen.

Will man die genauere Construction machen, wobei man beide Knotenpunkte als getrennt betrachtet, so hat man zwei Richtungslinien zu unterscheiden. Die erste geht vom leuchtenden Punkte zum ersten Knotenpunkte, und die zweite ist parallel mit der ersten durch den zweiten Knotenpunkt zu legen. Wo letztere die Netzhaut schneidet, ist der Ort 70
des Bildes. Das aufserhalb des Auges liegende Stück der ersten Richtungslinie und das im Glaskörper liegende Stück der zweiten gehören wieder dem Wege eines Lichtstrahls an, des Richtungsstrahls.

Ich nenne den Richtungsstrahl, welche die Stelle des directen Sehens trifft, die Gesichtslinie. Der vordere gerade Theil der Gesichtslinie geht also von dem fixirten Punkte des Gesichtsfeldes in der Richtung des ersten Knotenpunktes, der hintere gerade Theil von dem zweiten Knotenpunkte her nach der Netzhautgrube. Da man früher den gelben Fleck meist in dem hinteren Ende der optischen Axe des Auges gelegen glaubte, hielt man die Gesichtslinie auch für identisch mit der Augenaxe, und nannte diese Linie auch wohl Sehaxe oder Gesichtsaxe. Nach meinen Untersuchungen sind aber beide merklich von einander unterschieden. Vor dem Auge liegt die Gesichtslinie nach innen und meist etwas nach oben von der Augenaxe, die Netzhautgrube also nach aufsen und meist etwas nach unten von der Axe. Ich habe in *Fig. 53* die Lage der Gesichtslinie $G_1\, G_2$ im horizontalen Durchschnitte des Auges angegeben, sowie ich sie in einem gut gebildeten Auge im Verhältnifs zur Augenaxe $F_{,} F_{,,}$ liegen fand. Die obere Seite der Figur ist die Schläfenseite, die untere die Nasenseite.

Um die Brechung der Lichtstrahlen in den einzelnen Mitteln des Auges zu berechnen, theilen wir uns das optische System des Auges in zwei Theile, deren ersten die Hornhaut, deren zweiten die Krystallinse ausmacht, so dafs das erste Mittel des ersten Systems Luft, das Mittel zwischen beiden Systemen, oder das letzte des ersten, das erste des zweiten Systems wässrige Feuchtigkeit, das letzte Mittel des zweiten Systems Glaskörper ist.

Die Brechung in der Hornhaut.

Die Untersuchung der Brechung in dieser wird wesentlich vereinfacht durch den Umstand, dafs die Hornhaut sehr dünn ist, fast gleichgekrümmte Flächen hat, und ihr Brechungsvermögen nur wenig das der wässrigen Feuchtigkeit übertrifft. Ich habe § 9 bei den Gleichungen 12), 12 a), 12 b) nachgewiesen, dafs man an jeder brechenden Fläche eine unendlich dünne Schicht von beliebigem Brechungsvermögen und gleichgekrümmten Flächen einschieben könne, ohne die Brechung zu verändern. Man denke sich somit vor der Hornhaut eine unendlich dünne Schicht wässriger Feuchtigkeit ausgebreitet, wie sich denn sogar in Wahrheit dort eine ähnliche Schicht befindet, nämlich die Schicht der die Hornhaut netzenden Thränen. Dann können wir nachher die Hornhaut selbst als eine uhrglasförmige Linse betrachten, welche auf beiden Seiten von dem gleichen Medium, wässriger Feuchtigkeit, umgeben ist. Eine solche Linse hat eine sehr grofse oder unendliche Brennweite, d. h. sie verändert den Gang der Lichtstrahlen nicht merklich. Daraus folgt, dafs die Brechung der Lichtstrahlen in der Hornhaut fast dieselbe sein wird, als wenn die wässrige Flüssigkeit bis an die vordere Fläche der Hornhaut reichte. Diese Annahme ist daher bis jetzt auch fast immer bei der Berechnung des Ganges der Lichtstrahlen in der Hornhaut gemacht worden, und sie ist hier nicht zu vermeiden, da wir bisher zwar gute Messungen der äufseren Hornhautkrümmung, aber keine genügend zuverlässigen für die innere besitzen.

Sollte die bezeichnete Annahme streng gerechtfertigt sein, so müfste nach § 9 Gleichung 13) sein

$$n_2 \cdot (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) \cdot d = 0,$$

wo n_1 das Brechungsvermögen der wässrigen Feuchtigkeit, n_2 das der Hornhaut, d die Dicke, r_1 den Krümmungshalbmesser der vorderen, r_2 der hinteren Fläche
71 der Hornhaut bezeichnet. Diese Gleichung kann nun in der That auf die Hornhaut nicht wohl passen. Wenn wir sie schreiben:

$$(r_2 + d) - r_1 = \frac{n_1}{n_2} \cdot d,$$

so ist $(r_2 + d)$ der Abstand des Krümmungsmittelpunktes der hinteren Fläche vom Scheitel der vorderen, und die Gleichung würde aussagen, dafs der Krümmungsmittelpunkt der hinteren Fläche hinter dem der vorderen liege. Dann müfste die Hornhaut von der Mitte nach dem Rande zu an Dicke abnehmen, während in der Regel das Umgekehrte der Fall ist. Die Hornhaut wird also den Folgerungen gemäfs, welche am Ende des § 9 für concavconvexe Linsen aus der Gleichung 13) gezogen sind, in der Regel als Linse in wässriger Feuchtigkeit aufgehängt eine negative, aber sehr grofse Brennweite haben.

Nehmen wir $r_1 = 8$ mm, $r_2 = 7$ mm, $d = 1$ mm und nach W. Krause $n_2 = 1{,}3507$, $n_1 = 1{,}3420$, so wird nach § 9 Gleichung 13) die Brennweite der

in wässriger Feuchtigkeit befindlichen Hornhaut gleich — 8,7 Meter, eine Gröfse, welche wir im Verhältnisse zu den Dimensionen des Auges als unendlich grofs betrachten können.

Dasselbe wurde bestätigt durch Versuche mit dem Ophthalmometer, mittels welches Instrumentes ich die Gröfse eines Objects mafs, welches sich hinter einem Glasgefäfse mit parallelen Wänden befand. Brachte ich in das Wasser eine frische Hornhaut einer menschlichen Leiche, so dafs ich das Object nur durch die Hornhaut erblickte, so war durch das Ophthalmometer keine Verkleinerung des Bildes zu entdecken. Diese war also so gering, dafs die leichte Trübung des Bildes durch die eingeführte Hornhaut hinreichte, sie unwahrnehmbar zu machen.

Um berechnen oder schätzen zu können, um wie viel sich die wirkliche Brechung am Auge von derjenigen unterschiede, welche eintreten würde, wenn das Brechungsvermögen der Hornhaut wirklich dem der wässrigen Feuchtigkeit gleich wäre, wollen wir die optischen Constanten der Hornhaut nach der Formel § 9 Nr. 12) bestimmen, und dabei setzen, $n_1 = 1$, $n_3 = n$, $n_2 = n + \triangle n$, $r_1 = r$, $r_2 = r - \triangle r$, wobei wir die Gröfsen $\triangle n$, $\triangle r$ und die Dicke der Hornhaut d als sehr klein gegen n und r ansehen können. Wenn wir diese Bezeichnungen in § 9 Gleichungen 12) einsetzen, und die höheren Dimensionen der kleinen Gröfsen vernachlässigen, erhalten wir die Brennweiten.

$$F_1 = \frac{1}{n} . F_2 = \frac{r}{n-1} \left\{ 1 - \triangle n . \frac{(n-1).d - n.\triangle r}{n.(n-1).r} \right\} \quad . \quad . \quad 1).$$

Der Unterschied der Brennweiten von dem Werthe $\frac{r}{n-1}$, den wir durch die Annahme $\triangle n = 0$ erhalten, ist eine kleine Gröfse zweiter Dimension; ebenso die Entfernung x des ersten Hauptpunktes, von der vorderen Hornhautfläche nach vorn gerechnet,

$$x = \frac{d.\triangle n}{n\ (n-1)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1\ a)$$

Die Entfernung der beiden Hauptpunkte von einander a wird sogar eine kleine Gröfse dritter Dimension.

$$a = \frac{d^2 . \triangle n}{n.r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1\ b)$$

Für die Berechnung der Bilder wird es daher genügen, nur eine Brechung an der vorderen Fläche der Hornhaut in Betracht zu ziehen, und dabei das Brechungsvermögen der Hornhaut gleich dem der wässrigen Feuchtigkeit zu setzen.

Die Brechung in der Krystallinse.

Der zweite Theil des optischen Systems des Auges besteht aus der Krystalllinse. Vor dieser befindet sich die wässrige, hinter ihr die Glasfeuchtigkeit. Da das Brechungsvermögen dieser beiden Stoffe nur äufserst geringe Unterschiede zeigt, 72
so wollen wir diesen Unterschied vernachlässigen. In optischen Systemen, deren erstes und letztes Mittel identisch ist, fallen die Hauptpunkte mit den Knotenpunkten zusammen. Wir können also bei der Krystallinse im Auge, wie bei den gewöhnlichen Glaslinsen unserer optischen Instrumente, beide Arten von Punkten identificiren. Die Krystallinse unterscheidet sich aber dadurch wesentlich von

künstlichen Glaslinsen, dafs die Dichtigkeit ihrer Substanz nicht constant ist, sondern von aufsen nach innen zunimmt. Da wir das Gesetz dieser Zunahme nicht genau kennen, sind wir auch aufser Stande den Gang der Lichtstrahlen durch die Linse vollständig zu berechnen, und den Ort ihrer Brennpunkte und Hauptpunkte genau zu bestimmen. Wir müssen uns begnügen, Grenzen für die Lage dieser Punkte zu finden. In dieser Beziehung lassen sich folgende Sätze aufstellen.

1) Die Brennweiten der Krystallinse sind kleiner, als sie sein würden, wenn ihre ganze Masse das Brechungsvermögen ihres Kerns hätte.

Um diesen wichtigen Satz zu beweisen, denken wir uns die Krystallinse nach ihrer natürlichen Schichtung zerlegt in den Kern, der eine fast kugelige biconvexe Linse von positiver Brennweite darstellt, und in die einzelnen ihn umschliefsenden Schichten, deren zunächst der Augenaxe gelegene Theile concavconvexen Linsen entsprechen. Und zwar sind dies Linsen, die nach dem Rande zu dicker oder wenigstens nicht dünner werden, bei denen also $r_1 \geqq r_2 + d$ (s. Ende von § 9), wenn wir mit r_1 den Radius der convexen, mit r_2 den der concaven Fläche, und mit d die Dicke der Linse bezeichnen.

Da nach S. 81 die Brechung in einem optischen System nicht geändert wird, wenn wir unendlich dünne durch concentrische Kugelflächen begrenzte Schichten eines beliebigen brechenden Medium an beliebiger Stelle eingeschoben denken, so können wir uns zwischen je zwei Linsenschichten eine unendlich dünne Schicht Kernsubstanz eingeschaltet denken, und also alle übrigen Linsenschichten als in Kernsubstanz eingebettet betrachten. Da die einzelnen Linsenschichten nach dem Aequator der Linse hin dicker werden, so haben sie die Form von Concavlinsen, welche nach Gleichung 13) in § 9 und den sich daran schliefsenden Erörterungen über die Wirkung der Linsen negative Brennweite haben, wenn wie bei Glaslinsen in Luft $n_2 > n_1$, d. h. die Linse aus stärker brechender Substanz besteht. In unserem Falle aber ist es umgekehrt. Die in Kernsubstanz eingebetteten Linsenschichten würden $n_2 < n_1$ haben, und deshalb wie Sammellinsen auf das in Kernsubstanz eingetretene Licht wirken. Daraus folgt nach § 9 S. 84, dafs sie dieses Licht, ehe es die Hinterfläche der Krystallinse erreicht, convergenter machen müssen, als es ohne ihre Anwesenheit in der aus Kernsubstanz gebildeten Linse geworden wäre. Somit wird es auch convergenter die Linse verlassen, und eher in deren Axe zur Vereinigung kommen, als es durch eine ganz aus Kernsubstanz bestehende ungeschichtete Linse geschehen wäre.

Dafs bei dieser Vorschiebung des Vereinigungspunkts auch die Brennweite verkürzt werden mufs, ergiebt sich, wenn wir einen der Axe parallel in der Entfernung ϱ von ihr verlaufenden Strahl verfolgen, der also auch verlängert die erste, wie die zweite Hauptebene in der Entfernung ϱ von der Axe trifft. Dieser mufs hinter der Linse durch deren zweiten Brennpunkt gehen. Bezeichnen wir den Convergenzwinkel, unter dem der Strahl die Axe im Brennpunkt schneidet mit α, so ist
$$\varrho = F \cdot tg\, \alpha.$$

Für denselben Strahl wird aber die Convergenz der Strahlen gröfser, wie wir eben gesehen, wenn wir die geschichtete Linse statt der einfachen Linse aus Kernsubstanz setzen. Wenn ϱ gleich bleibt, α gröfser wird, mufs F kleiner werden.

Herr L. MATTHIESSEN[1] hat kürzlich die Strahlenbrechung in einer Linse theoretisch berechnet, die eine Zunahme des Brechungsverhältnisses von der Ober-

[1] L. MATTHIESSEN. *Pflueger's Archiv für Physiologie.* Bd. 36. S. 72.

fläche gegen den Kern zeigt, deren Gesetz zuvor hypothetisch angenommen, aber doch den Verhältnissen der menschlichen Krystallinse möglichst angenähert ist.

2) Die Entfernung der Hauptpunkte von einander ist in der Kry- 75
stallinse kleiner als in einer Linse, welche dieselbe Form und das Brechungsvermögen des Kerns hätte.

Die Hauptpunkte sind die von der Linse selbst entworfenen Bilder eines in ihr liegenden Punktes, nämlich ihres sogenannten optischen Mittelpunktes. Wo dieser auch liegen mag, so läfst sich in ganz ähnlicher Weise, wie es eben zur Bestimmung der Brennpunkte geschehen ist, nachweisen, dafs die Bilder des optischen Mittelpunktes desto näher den Oberflächen der Linse rücken werden, je mehr das Brechungsvermögen der einzelnen Schichten der Krystallinse steigt, dafs dabei also auch die Entfernung der beiden Bilder von einander algebraisch gröfser wird. Wenn nun sämmtliche Schichten der Linse schliefslich das Brechungsvermögen des Kerns erreicht haben, wird im Allgemeinen der optische Mittelpunkt der Krystallinse nicht mehr mit dem optischen Mittelpunkte dieser neuen gleichartigen Linse zusammenfallen. Da aber bei einer Linse mit positiven Brennweiten die Entfernung der Hauptpunkte ein Maximum ist unter den Entfernungen der Bilder je eines inneren Punktes, so ist die Entfernung der Hauptpunkte dieser neuen gleichartigen Linse jedenfalls gröfser als die Entfernung der von ihr entworfenen Bilder des optischen Mittelpunktes der unveränderten Krystallinse, folglich auch gröfser als die Entfernung der Hauptpunkte der unveränderten Krystallinse von einander.

Es läfst sich ferner nachweisen, dafs die Entfernung der Hauptpunkte der Krystallinse einen positiven Werth hat, d. h. dafs der zweite Hauptpunkt hinter dem ersten liegt, wenn wir annehmen, wie dies aus der Form der Linsenschichten hervorzugehen scheint, dafs die Krümmungsradien der in der Axe gelegenen Theile der Schichtflächen gröfser sind als die Entfernungen dieser Flächen vom Kerne der Linse. Brechende Kugelflächen entwerfen von Punkten, welche zwischen ihnen und ihrem Mittelpunkte liegen, Bilder, die der brechenden Fläche näher sind, als das Object. Folglich wird das Bild des Mittelpunktes des Linsenkerns, welches die vordere Linsenhälfte entwirft, vor seinem Objecte, das, welches die hintere Linsenfläche entwirft, hinter seinem Objecte liegen. Die beiden zusammengehörigen Bilder des Mittelpunktes des Linsenkerns haben also eine positive Entfernung. Da der Abstand der Hauptpunkte algebraisch gröfser ist als der aller anderen zusammengehörigen Bilder, so ist dieser Abstand jedenfalls positiv.

Die Hauptpunkte einer Linse, welche die Gestalt der menschlichen Krystallinse und das Brechungsvermögen ihres Kerns hätte, würden nur etwa $^1/_4$ mm von einander entfernt sein; dadurch ist die Entfernung der Hauptpunkte der Krystallinse 76
von einander also in sehr enge Grenzen eingeschlossen.

Die Brechungsverhältnisse der durchsichtigen Mittel des menschlichen Auges sind früher von Chossat[1] und Brewster[2] bestimmt worden; später ist eine grofse Zahl solcher Messungen von W. Krause[3] ausgeführt worden, während die erstgenannten Beobachter, wie es scheint, nur wenige Augen untersucht haben. Brewster brachte die zu untersuchende Substanz zwischen die krumme Fläche einer Convexlinse, welche als Objectiv eines Mikroskops diente, und ein gegen die Axe des Mikroskrops senkrecht gestelltes Planglas. Dadurch wird die Brennweite des Mikroskops verändert. Brewster mafs den Objektabstand des Mikroskops vor und nach der Einbringung der brechenden Substanz und nach der Einbringung von reinem Wasser,

[1] C. J. E. Chossat, *Bulletin des sc. par la Société philom. de Paris.* A. 1818. Juin. p. 294.
[2] D. Brewster, *Edinburgh Philos. Journal.* 1819. No. 1. p. 47.
[3] W. Krause, *Die Brechungsindices der durchsichtigen Medien des menschl. Auges.* Hannover 1855.

dessen Brechungscoefficient bekannt war. CAHOURS und BECQUEREL[1] schlugen vor, die Gröfse der Bilder des Mikroskops zu messen, und dieser Methode ist auch W. KRAUSE gefolgt. Ich lasse hier die Beschreibung des Verfahrens folgen, welches der Letztere angewendet hat, da es für Ärzte, die ein Mikroskop zu gebrauchen pflegen, leicht ausführbar ist.

Ein gewöhnliches (KELLNERsches) Mikroskop, dessen unterer Theil in *Fig. 54* abgebildet ist, wurde für die Messungen auf folgende Art eingerichtet. An die Stelle des Objectivs wurde eine biconvexe Linse von Crownglas von etwa 30 mm Brennweite gebracht, indem die Fassung *b* in das Rohr des Mikroskops *a* eingeschraubt wurde. Die Linse befand sich in einer concaven, geschwärzten Vertiefung, und wurde darin durch die Hülse *d*, die in der Mitte mit einer Öffnung von 2,6 mm Durchmesser versehen war, festgeschraubt. Die Linse lag luftdicht auf dem Rande dieser Öffnung an. Unter ihr wurde eine plane Glasplatte *e*, ebenfalls von Crownglas, angebracht, vermittelst eines Ringes *f*, dessen Innenraum konisch ausgeschliffen war und auf die Hülse *d*, die ebenfalls konisch ausgeschliffen war, pafste, jedoch nicht so genau, dafs nicht Luft langsam dazwischen hindurchdringen konnte.

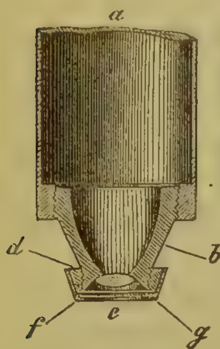


Fig. 54.

Das zu prüfende Augenmedium wurde in den Ring *f* auf die Mitte der ebenen Platte gebracht, und dann der Ring so fest auf die Hülse *d* aufgedrückt, dafs die letztere auf den vorspringenden Rand *g* aufstiefs, um dadurch das Planglas sicher vertikal gegen die Axe des Mikroskops zu stellen. Nach jeder Messung konnte die Objektivlinse herausgenommen und gereinigt werden.

Im Oculare des Mikroskops war ein Glasmikrometer, getheilt in $^1/_{30}$ Wiener Linien, befestigt; auf den Objecttisch wurde ein eben solches, getheilt in $^1/_{10}$ Linien, gelegt, und das Mikroskop so gestellt, dafs beide Theilungen gleichzeitig deutlich gesehen wurden, und bestimmt, wie viel Theilstrichen des unteren Mikrometers einer des oberen entsprach. Eben solche Messungen wurden angestellt, wenn blofs Luft zwischen der Objectivlinse und der ebenen Platte, und wenn destillirtes Wasser dazwischen war.

Zur Berechnung der Resultate können wir die Gleichungen 12) in § 9 benutzen; zwar beziehen sich diese nur auf zwei brechende Flächen und in dem Objectivsystem von KRAUSE's Apparate haben wir vier, nämlich die erste und zweite Fläche des Planglases, die erste und zweite Fläche der biconvexen Linse. Wenn wir uns das System in zwei zerlegen, von denen das erste die beiden ebenen Flächen umfafst, das zweite die beiden Flächen der Linse, so sind die Brennweiten des ersten Systems unendlich. Bezeichnen wir die erste (untere) Brennweite des Planglases entsprechend der Bezeichnung in § 9. Gleichung 11a) bis 11f) mit f_1, die zweite des Planglases mit f_2, die erste (untere) der Linse mit φ_1, die zweite mit φ_2, den Abstand des zweiten Hauptpunkts des Planglases vom ersten der Linse mit d, so giebt die letztere der Gleichungen 11f), wenn wir f_2 unendlich grofs setzen, für die zweite (obere) Brennweite des ganzen Systems:

$$F_2 = \varphi_2.$$

77 Die erste Brennweite des ganzen Systems ist dieser gleich, da das erste und letzte Mittel (Luft) identisch sind.

Für die Entfernung des zweiten Hauptpunktes des ganzen Systems vom zweiten Hauptpunkte der Linse giebt die Gleichung 11e) den Werth 0, wenn wir $f_2 = \infty$ setzen. Der zweite Hauptpunkt und zweite Brennpunkt sind also in diesem Falle dieselben, als wenn das zwischen der ebenen Platte und der Linse eingeschlossene Mittel nach vorn unbegrenzt wäre.

Wir nennen also, entsprechend der Bezeichnung die Gleichung 12) in § 9, das Brechungsverhältnifs der zu prüfenden Substanz n_1, das der Glaslinse n_2; das der Luft n_3 können wir $= 1$ setzen; dann entspricht der Werth von F_2 der genannten Gleichungen der Brennweite F unseres Objectivsystems:

$$F = \frac{n_2 . r_1 . r_2}{n_2 . (1 - n_2) . r_1 + [n_2 . r_2 - (1 - n_2) . d] . (n_2 - n_1)} .$$

[1] A. C. BEQUEREL, *L'Institut. Scienc math., phys. et natur.* 1840. p. 399.

Nennen wir F_0 die Brennweite des Objectivsystems für den Fall, dafs destillirtes Wasser zwischen die Platte und Linse eingebracht ist, n_0 das Brechungsvermögen des destillirten Wassers, und Φ die Brennweite für den Fall, wo sich Luft zwischen der Platte und Linse befindet, so erhalten wir noch zwei ähnliche Gleichungen, welche wir mit der vorigen in folgender Form schreiben können:

$$\left.\begin{array}{l} F \,.\, A - n_2 \,.\, r_1 \,.\, r_2 = n_1 \,.\, F \,.\, B \\ F_0 \,.\, A - n_2 \,.\, r_1 \,.\, r_2 = n_0 \,.\, F_0 \,.\, B \\ \Phi \,.\, A - n_2 \,.\, r_1 \,.\, r_2 = \Phi \,.\, B \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2),$$

wenn wir der Abkürzung wegen setzen:

$$A = n_2.[(1 - n_2).r_1 + n_2.r_2 - (1 - n_2).d]$$
$$B = n_2.r_2 - (1 - n_2).d.$$

Wenn wir die zweite der Gleichungen 2) von der ersten, und die dritte von der zweiten abziehen, erhalten wir:

$$(F - F_0).A = (n_1.F - n_0.F_0).B$$
$$(F_0 - \Phi).A = (n_0.F_0 - \Phi).B.$$

Diese beiden Gleichungen durch einander dividirt geben:

$$\frac{F - F_0}{F_0 - \Phi} = \frac{n_1.F - n_0.F_0}{n_0.F_0 - \Phi}.$$

Daraus folgt endlich:

$$n_1 = 1 + (n_0 - 1).\frac{F_0.(F - \Phi)}{F.(F_0 - \Phi)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2a).$$

Wir können also das Brechungsverhältnifs der zu prüfenden Substanz n_1 berechnen' wenn wir das Brechungsverhältnifs des destillirten Wassers n_0 kennen und die drei Brennweiten des Objectivsystems F, F_0 und Φ. Diese Brennweiten lassen sich aber aus der Messung der Bilder berechnen. Ist b die Gröfse eines Theilstrichs des unteren Mikrometers, und β die absolute Gröfse seines in der Ocularblendung des Mikroskops entworfenen Bildes, ohne Rücksicht auf seine umgekehrte Stellung, F die Brennweite des Objectivsystems und g die Entfernung des Bildes β vom zweiten Hauptpunkte des Objectivsystems, so ist nach § 9 Gleichung 8b):

$$\frac{\beta}{b} = \frac{g - F}{F} \text{ oder}$$

$$F = \frac{g.b}{b + \beta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2b)$$

Wenn man b und β gemessen hat, würde man also g noch kennen müssen, um F zu finden. Vorausgesetzt aber, dafs g in allen Fällen dasselbe bleibt, was in Krause's Apparat mit grofser Annäherung der Fall ist, würde sich dessen Werth aus der Gleichung für n_1 fortheben, braucht also dann nicht gekannt zu sein. Lassen wir den drei 78
Brennweiten F, F_0 und Φ entsprechen die drei Werthe β, β_0 und b, so wird der Werth von n_1

$$n_1 = 1 + (n_0 - 1).\frac{b - \beta}{b - \beta_0} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2c).$$

Zur Berechnung von n_1 braucht man also unter diesen Umständen nicht einmal die Gröfse des Objects b zu kennen, welches man unter das Mikroskop gelegt hat, sondern es genügt, irgend ein beliebiges Object zu nehmen, wenn es nur immer dasselbe bleibt.

Der Werth von g ist in diesen Messungen constant, wenn sich die Stellung des Mikrometers im Oculare, und die des zweiten Hauptpunktes des Objectivsystems nicht ändert. Die letztere ist bei Einschaltung verschiedener Flüssigkeiten zwischen der ebenen Platte und Linse nur dann streng constant, wenn die obere Fläche der Linse eben ist.

In § 9 Gleichung 12a) ist h_2 die Entfernung des zweiten Hauptpunktes von der hinteren Fläche der Linse. Wenn r_2 nicht unendlich ist, ist diese Entfernung von n_1, dem Brechungsvermögen der eingeschalteten Substanz, abhängig. Wenn man r_2 unendlich grofs setzt, nachdem man Zähler und Nenner des Ausdrucks für h_2 dadurch dividirt hat, wird

$$h_2 = -\frac{n_3 \cdot d}{n_2},$$

also unabhängig von n_1. Es möchte daher besser sein, bei solchen Messungen statt der biconvexen eine planconvexe Linse zu nehmen, die plane Seite nach oben gewendet. Indessen ist der Fehler, welcher durch Anwendung einer biconvexen entstehen kann, jedenfalls äufserst unbedeutend, wenn nur die Dicke der Linse gegen die Länge des Körpers des Mikroskops vernachlässigt werden kann.

Brewster hat bei seinen Messungen den Brechungscoefficienten des destillirten Wassers = 1,3358 gesetzt, was nach Fraunhofer's Messungen etwa der Linie E in Grün, also den Strahlen mittlerer Brechbarkeit entsprechen würde. Krause zieht auf Listing's Rath vor, als Grundlage den intensivsten Strahl des Spectrums zu nehmen, welcher nach Fraunhofer den Brechungsindex 1,33424 hat. Ich gebe in der folgenden Tafel die Resultate, welche Chossat, Brewster und Krause für das menschliche Auge erhalten haben. W. Krause hat 20 Augen von 10 Individuen untersucht und sehr beträchtliche individuelle Abweichungen gefunden.

Tabelle der Brechungsindices menschlicher Augen.

Beobachter.		Hornhaut.	Wässrige Feuchtigkeit.	Glaskörper.	Krystallinse. Äufsere Schicht.	Mittlere Schicht.	Kern.
Chossat.		1,33	1,338	1,339	1,338	1,395	1,420
Brewster. $n_0 = 1,3358$.			1,3366	1,3394	1,3767	1,3786	1,3896
W. Krause. $n_0 = 1,3342$.	Max.	1,3569	1,3557	1,3569	1,4743	1,4775	1,4807
	Min.	1,3431	1,3349	1,3361	1,3431	1,3523	1,4252
	Mittel.	1,3507	1,3420	1,3485	1,4053	1,4294	1,4541
Helmholtz. $n_0 = 1,3354$.			1,3365	1,3382	1,4189		

Die von mir selbst angestellten Messungen sind in folgender Weise ausgeführt: Es wurden Proben der zu untersuchenden Flüssigkeit zwischen einer ebenen Glasplatte und der concaven Fläche einer kleinen planconcaven Linse eingeschlossen; Bilder dieses optischen Systems wurden mit dem Ophthalmometer gemessen, daraus die Brennweiten berechnet. Aufserdem konnte der Radius der concaven Linsenfläche direct mit dem Ophthalmometer bestimmt werden, ähnlich wie dies in § 2 für den Krümmungsradius der Hornhaut geschehen ist. Unter diesen Umständen war es nicht nöthig, auch mit destillirtem Wasser zwischen den Gläsern zu beobachten, und dessen Brechungs-
79 verhältnifs als bekannt vorauszusetzen. Das Brechungsverhältnifs des destillirten Wassers fand sich auf diese Weise 1,3351, was zwischen Brewster's und Krause's Zahl liegt.

Krause hat noch eine Reihe von Brechungsverhältnissen an Kalbsaugen untersucht, namentlich in der Absicht zu ermitteln, ob die Brechungsverhältnisse in den ersten 24 Stunden nach dem Tode sich merklich verändern, indem er 20 solcher Augen unmittelbar nach dem Tode untersuchte, 20 andere, nachdem sie 24 Stunden bei 15° R. aufbewahrt worden waren. Er fand folgende Mittelzahlen:

	frische Augen	nach 24 Stunden
Hornhaut	1,3467	1,3480
Wässrige Feuchtigkeit	1,3421	1,3415
Glaskörper	1,3529	1,3528
Äufsere Linsenschicht	1,3983	1,4013
Mittlere Linsenschicht	1,4194	1,4211
Linsenkern	1,4520	1,4512.

Daraus geht hervor, dafs sich die Brechungsverhältnisse der Kalbsaugen in den ersten 24 Stunden nach dem Tode nicht merklich verändern, und es läfst sich demnach dasselbe für die menschlichen annehmen.

Später sind verschiedene Bestimmungen der Brechungsverhältnisse der brechenden n
Theile des Auges mit dem dafür sehr geeigneten Refractometer von Abbe[1] ausgeführt worden. In diesem Instrumente sind zwei rechtwinkelige Prismen mit den Hypotenusenflächen aneinander gelegt, zwischen diese Flächen wird ein Tropfen der Substanz, die man untersuchen will, gebracht, und dann untersucht, unter welchem Winkel totale Reflexion eintritt. Diese tritt bekanntlich für Licht, das sich in einem stärker brechenden Medium bewegt ein, wenn das Brechungsgesetz

$$\sin \alpha_1 = \frac{n_2}{n_1} \cdot \sin \alpha_2$$

erfordern würde, dafs $\sin \alpha_1 > 1$ würde, was der Sinus eines reellen Winkels nicht kann. Die Grenze ist also gegeben, wo

$$\sin \alpha_2 = \frac{n_2}{n_1}$$

Abbe's Instrument erlaubt diesen Winkel genau zu messen, mit gleichzeitiger Compensation der Farbenzerstreuung und Messung der mittleren Dispersion. Man braucht für diese Messungen nur äufserst wenig der betreffenden Substanz.

Bestimmungen nach dieser Methode sind ausgeführt von den Herren Sigmund Fleischer[2], Hirschberg[3], Aubert und Matthiessen[4]. Herr Hirschberg hat besonders frische Augen benutzen können; er fand

für Kammerwasser: 1,337 (Max. 1,33799 — Min. 1,33705)
für Glaskörper 1,336 (Max. 1,33798 — Min. 1,33541)

Die Herren Aubert und Matthiessen fanden gemeinsam bei den Augen eines Mannes von 50 Jahren und eines Kindes von 2 Tagen, während das Brechungsverhältnifs des destillirten Wassers, mit demselben Instrument bestimmt, gleich 1,3310 gefunden wurde:

	Mann		Kind	
	I.	II.	I.	II.
Hornhaut.	—	1,377	1,3721	—
Kammerwasser . . .	—	—	1,3338	—
Vordere Linsenkapsel	—	—	1,3831	1,3780
Hintere	1,3374	1,3376	1,3503	1,3572
Äufsere Linsenschicht	1,3953	1,3967		
Mittlere	1,4087	1,4067	1,3967	—
Kern	1,4119	1,4093		
Glaskörper	—	1,3348	1,3340	

Experimentelle Bestimmung der Cardinalpunkte todter Krystallinsen.

Da aus der Gestalt und den Brechungsverhältnissen der einzelnen Schichten der 79
Krystallinse deren Brennweite nicht unmittelbar zu berechnen ist, so will ich hier die Resultate von directen Messungen der optischen Constanten zweier menschlicher Linsen anführen, welche ich etwa 12 Stunden nach dem Tode untersuchen konnte.

An der Luft trocknet und faltet sich die Oberfläche einer aus dem Auge genommenen Linse sehr bald, in Wasser quillt sie auf und wird trübe. Ich habe deshalb die todten Linsen während ihrer Untersuchung mit Glasfeuchtigkeit umgeben. Aufserdem sind die Linsen aufserordentlich nachgiebig gegen jeden Zug und Druck; so lange sie aber von

[1] E. Abbe. *Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens.* Jena 1874.

[2] S. Fleischer. *Neue Bestimmungen der Brechungsexponenten der durchsichtigen flüssigen Medien des Auges.* Inaug. Diss. Jena 1874.

[3] J. Hirschberg, *Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde.* Bd. IV. Wiesbaden 1874.

[4] H. Aubert, *Grundzüge der Physiologischen Optik.* Leipzig 1876.

ihrer elastischen und sie sehr prall umschliefsenden Kapsel umgeben sind, sind diese Formveränderungen vorübergehend. Man mufs die Linsen während der Untersuchung also so lagern, dafs sie keinem äufseren Zuge oder Drucke ausgesetzt sind. Ich that das auf folgende Weise. In *Fig. 55* ist ein Durchschnitt des kleinen Apparates, den ich dazu brauchte, in natürlicher Gröfse dargestellt. In der Mitte befindet sich ein hohles cylindrisches Stück aus Messing, welches im Inneren bei *b b* eine horizontale, auf der oberen Seite concave und in der Mitte mit einer runden Oeffnung versehene Scheidewand hat. Ich benutzte dazu die Fassung eines der Objectivgläser eines älteren Mikroskops. Der untere Rand dieses Messingstücks wird auf die planparallele Glasplatte *c c* aufgekittet, aber so, dafs sich keine Schicht Kitt von merklicher Dicke zwischen die unterste Rundung des Randes und die Glasplatte einschiebt. Nun füllt man erst den unteren Hohlraum des Messingcylinders mit Glasfeuchtigkeit, legt dann die Krystallinse, welche man vorsichtig und ohne Verletzung oder harte Berührung aus dem Auge genommen hat, mit ihrer platteren Seite auf das Diaphragma *b b*. Dann füllt man oben noch etwas Glasfeuchtigkeit nach, bis sie bis zum oberen Rande des Messinggefäfses steht, und deckt die zweite planparallele Glasplatte *d d* darüber, so dafs diese auch oben der Glasfeuchtigkeit eine gerade Oberfläche giebt. Da ich mein Ophthalmometer nicht bequem vertical stellen konnte, so setzte ich auf die Glasplatte *d d* noch ein rechtwinkeliges, gleichschenkeliges Glasprisma *f*, welches das von unten her durch die Linse kommende Licht horizontal reflectirte. Das Ganze setzt man dann bequem auf den Körper eines Mikroskops, von dem man alle Gläser und die enge Blendung am unteren Theile entfernt hat, und bringt eine Messingplatte mit GRAVESAND'schen Schneiden, deren Zwischenraum als optisches Object für die Krystallinse gebraucht werden soll, einmal auf den Objecttisch des Mikroskops, und dann
80 wieder dicht unter die Glasplatte *c c*, zwischen sie und den oberen Rand des Körpers des Mikroskops. Zur Beleuchtung gebraucht man den Spiegel des Mikroskops, indem man ihn von unten her Licht durch den zwischen den Schneiden gelegenen Ausschnitt der Messingplatte werfen läfst. Mittels des Ophthalmometers mifst man nun die Gröfse des Bildes, welches die Krystallinse von dem Ausschnitte der Messingplatte entwirft.

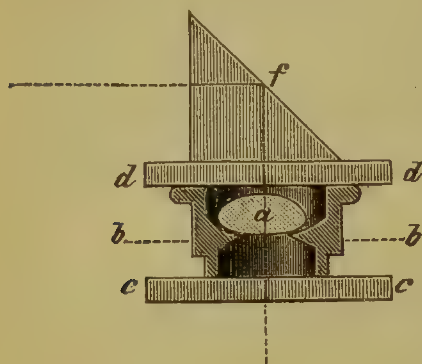


Fig. 55.

Zur Rechnung mufs man die Entfernung des Ausschnitts zwischen den GRAVESAND'schen Schneiden von der unteren Fläche der Platte *c c* kennen. Diese Gröfse sei a_1, wenn der Schirm auf dem Tische des Mikroskops liegt, und a_2, wenn er dicht unter der Platte liegt. Je gröfser man a_1 und je kleiner man a_2 machen kann, desto bessere Resultate giebt der Versuch. Ferner mufs man die Dicke der Platte *c c* kennen, welche wir c nennen wollen, und wenigstens annähernd ihr Brechungsvermögen n_c, endlich die Entfernung b zwischen der oberen Fläche der Platte *c c* und dem oberen Rande der Öffnung *b b*, und das Brechungsverhältnifs des Glaskörpers gegen Luft n_2. Ferner sei b_1 die Entfernung der GRAVESAND'schen Schneiden von einander zu der Zeit, wo sie auf dem Tische des Mikroskops um a_1 entfernt von der Platte c lagen, β_1 die Breite des von der Krystallinse entworfenen Bildes, ihres Zwischenraums, welche in diesem Falle eine negative Gröfse ist wegen der Umkehrung des Bildes, b_2 und β_2 die entsprechenden Gröfsen bei der anderen Lage des Schirms, f die gesuchte Brennweite der Linse in Glasfeuchtigkeit, und x der Abstand ihres ersten Knotenpunktes von der Ebene des oberen Randes der Öffnung *b b*. So ergiebt sich aus dem, was über die Brechung in ebenen Platten § 9 Gleichung 3 e) und 6 c) gefunden ist, dafs die Lichtstrahlen, wenn sie in der Glasfeuchtigkeit vor der Krystallinse angekommen sind, einem Bilde von der Gröfse b_1 und b_2 entsprechen, welches in der Entfernung beziehlich $\left(n . a_1 + \frac{n}{n_c} . c + b + x\right)$ oder $\left(n . a_2 + \frac{n}{n_c} . c + b + x\right)$ liegt. Die Gröfse des Bildes β_1 oder β_2 wird nachher durch

die Brechung an den ebenen Flächen der oberen Glasplatte nicht weiter verändert. Wir haben also die Gleichungen:

$$\frac{\beta_1 - b_1}{\beta_1} = \frac{n.a_1 + \frac{n}{n_c}.c + b + x}{f}$$

$$\frac{\beta_2 - b_2}{\beta_2} = \frac{n.a_2 + \frac{n}{n_c}.c + b + x}{f}$$

Durch Subtraction erhält man:

$$\frac{\beta_1 - b_1}{\beta_1} - \frac{\beta_2 - b_2}{\beta_2} = \frac{n.(a_1 - a_2)}{f},$$

woraus f zu finden ist:

$$f = \frac{n.\beta_1.\beta_2.(a_1 - a_2)}{b_2.\beta_1 - b_1.\beta_2},$$

und dann erhält man aus einer der beiden früheren Gleichungen auch x. Man vergesse bei der Rechnung nicht, dafs β_1, wenn a_1 gröfser als die Brennweite ist, ein umgekehrtes Bild, also negativ ist. Die Gröfse x ist nicht unmittelbar gleich dem Abstande des Knotenpunktes von der vorderen Fläche der Linse zu setzen, sondern bedarf dazu noch einer kleinen Correction, weil die gekrümmte Fläche der Linse sich etwas unter die Ebene der Öffnung, auf deren Rändern sie ruht, herabwölbt. Wenn man den Durchmesser der Öffnung und den Krümmungsradius der Linse kennt, ist die Höhe des betreffenden Kugelabschnitts leicht zu berechnen.

Den Abstand des zweiten Knotenpunktes von der hinteren Fläche der Linse erhält man in derselben Weise, nachdem man die Linse umgekehrt hat.

Die kleine Gröfse $\frac{c}{n_c}$ kann man durch Beobachtungen mit dem Ophthalmometer bestimmen, indem man die Glasplatte $c\,c$, ähnlich wie sie hier zwischen dem Spalt und 81
der Krystallinse angebracht ist, zwischen diesen und eine kleine Glaslinse von bekannter Brennweite und bekannter Lage der Knotenpunkte bringt. In ähnlicher Weise kann auch die Gröfse b ermittelt werden. Dieselben Gleichungen, welche wir für die Ermittelung von x und f aufgestellt haben, können bei bekanntem x und f auch dienen, b oder $\frac{c}{n_c}$ zu ermitteln.

Die Krümmungshalbmesser für die Scheitel der Linse können entweder, wie oben angegeben ist, durch Spiegelung ermittelt werden, oder auch durch Brechung. Zu dem Ende läfst man die Linse in ihrem Messinggehäuse liegen, und entfernt nur den Theil der Glasfeuchtigkeit, welcher ihre obere Fläche bedeckt, und stellt nun entweder den Ausschnitt zwischen den GRAVESAND'schen Schneiden vor dem Prisma f, etwas seitlich von der Gesichtslinie des Ophthalmometers auf, und mifst die Gröfse seines Spiegelbildes, oder man läfst den Messingschirm mit den Schneiden auf dem Objecttische des Mikroskops liegen, und mifst das dioptrische Bild, welches jetzt entworfen wird. Wie die Messung des Spiegelbildchens zur Rechnung zu benutzen ist, ist schon oben angegeben. Für die dioptrische Messung mögen b_1, β_1 und f die bisherige Bedeutung behalten, β_3 die Gröfse des Bildes bezeichnen, nachdem man die Glasfeuchtigkeit von der oberen Fläche der Linse entfernt hat, und y der Abstand des oberen Knotenpunktes von der oberen Fläche sein. (Dieser Abstand bezieht sich immer auf den Fall, wo die Linse in Glasfeuchtigkeit liegt.) Endlich sei R der Krümmungsradius im Scheitel der oberen Fläche. Dann kann R aus der Gleichung gefunden werden:

$$R \,.\, \frac{n.(\beta_1 - \beta_3)}{(n-1).\beta_3} = f \,.\, \frac{b_1 - \beta_1}{b_1} - y.$$

Ich habe für den eigenthümlichen Bau der Linse erwiesen, dafs ihre Brennweite kürzer sei, als wenn sie ganz und gar die Dichtigkeit und das Brechungsvermögen ihres Kerns hätte. Wollte man also eine homogene Linse von gleicher Gestalt und Gröfse und gleicher Brennweite, wie der Krystallkörper ist, herstellen, so würde man dieser ein noch höheres Brechungsvermögen geben müssen, als selbst sein Kern hat. Dieses Brechungsvermögen einer imaginären gleichgestaltigen und gleichwerthigen homogenen Linse hat Senff das totale Brechungsvermögen genannt. Es ist wohl zu unterscheiden von dem mittleren Brechungsvermögen, welches dem arithmetischen Mittel sämmtlicher Schichten entspricht. Das totale ist im Gegentheile höher als das höchste Brechungsvermögen der dichtesten Theile der Linse. Ich gebe hier zunächst eine Zusammenstellung der von mir für menschliche Linsen gefundenen Werthe, die Lineardimensionen in Millimetern. Brennweite und Hauptpunkte beziehen sich auf den Fall, wo die Linse von Glasfeuchtigkeit umgeben ist. Die Krümmungshalbmesser sind durch Spiegelung bestimmt.

1) Brennweite	45,144	47,435
2) Abstand des ersten Hauptpunktes von der vorderen Fläche	2,258	2,810
3) Abstand des zweiten Hauptpunktes von der hinteren Fläche	1,546	1,499
4) Dicke der Linse	4,2	4,314
5) Krümmungshalbmesser im Scheitel der vorderen Fläche	10,162	8,865
6) Krümmungshalbmesser im Scheitel der hinteren Fläche	5,860	5,889
7) Totales Brechungsvermögen	1,4519	1,4414.

Form der Krystallinse an lebenden Augen.

Ob aber Form und Brennweite todter Linsen denen des lebenden fernsehenden Auges gleich sind, ist mir durch Messungen, die ich an lebenden Augen ausgeführt habe, zweifelhaft geworden. Ich habe nämlich die Dicke der Linse an drei lebenden Personen zum Theil um mehr als 1/2 mm kleiner gefunden, als die kleinsten Werthe der Dicke sind, die man an todten Linsen findet[1]. Wie man die Entfernung der Pupille von der vorderen Hornhautfläche findet, ist in § 3 beschrieben. Dicht am Pupillarrande der Iris befindet sich auch die vordere Linsenfläche. Um die Dicke der Linse zu bestimmen, mufs man also noch die Entfernung der hinteren Linsenfläche von der Hornhaut zu ermitteln suchen.

82

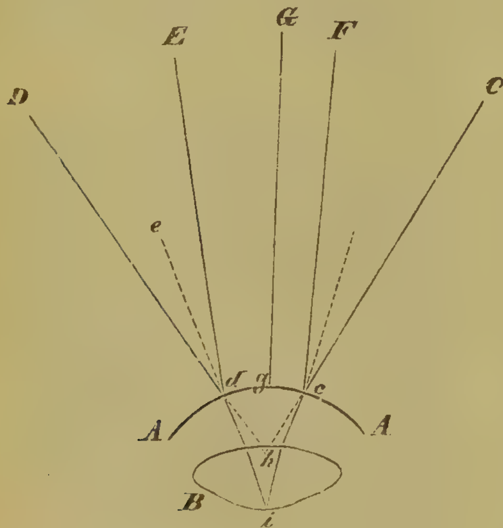


Fig. 56.

Es sei in *Fig. 56* AA die Hornhaut, B die Linse. Es falle in der Richtung Cc Licht in das Auge, werde gebrochen an der Hornhaut und vorderen Linsenfläche, dann an der hinteren Linsenfläche in i reflectirt. Der zurückgeworfene Strahl trete bei d aus der Hornhaut und gehe fort in der Richtung dD, wo er das Auge des Beobachters trifft. Jetzt bringe der Beobachter sein Auge nach C genau an die Stelle des Lichts und das Licht nach D genau an die frühere Stelle seines Auges, so wird ein Lichtstrahl wieder genau auf demselben Wege, nur in umgekehrter Richtung $DdicC$ vom Lichte zum Auge des Beobachters gehen, und es wird bei dieser zweiten Stellung wieder genau dieselbe Stelle der hinteren Linsenfläche das Licht zurückwerfen, wie bei der ersten. Indem man den Ort des Lichts und des Auges des Beobachters, den Ort des beobachteten Auges, so wie den Fixationspunkt des letzteren durch passende Abmessungen bestimmt, erhält man die Winkel, welche die Linien Cc, Dd und die Gesichtslinie des beobachteten

[1] H. Helmholtz, *Graefe's Archiv für Ophthalmologie.* Bd. I. (2.) S. 56.

Auges $G g$ mit einander bilden. Um die Punkte c und d auf der Hornhaut zu finden, bringt man, wenn das Auge des Beobachters in D steht, ein kleines Licht entfernt vom Auge in E so an, dafs für den Beobachter der von der Hornhaut entworfene Reflex dieses Lichts mit dem von der hinteren Linsenfläche entworfenen Reflexe des Lichts C zusammenfällt. Dies geschieht, wenn der Strahl $E\,d$ nach D zurückgeworfen wird, wenn also die Halbirungslinie des Winkels $E d D$ senkrecht auf der Hornhautfläche steht. Es sei $e\,d$ diese Halbirungslinie. Hat man durch passende Abmessungen den Winkel $E\,d\,D$ oder $E\,d\,G$ bestimmt, so berechnet sich daraus leicht der Winkel, den $e\,d$ mit $G g$ bildet, und daraus, wenn man die Form und Krümmung der Hornhaut schon gemessen hat, die Länge des Hornhautbogens, der zwischen beiden liegt, oder die Lage des Punktes d auf der Hornhaut. Eben so wird die Lage des Punktes c bestimmt.

Jetzt kennt man also die Lage der Punkte c und d, die Richtung der Linien $C c$ und $D\,d$; man verlängere beide, bis sie sich in h schneiden, so ist h der scheinbare Ort des spiegelnden Punktes der hinteren Linsenfläche, d. h. der Ort, wie er durch die Substanz der Linse und Hornhaut hin erscheint.

Die nöthigen Data zu diesen Bestimmungen bekommt man auf folgende Weise.

Es wird, wie in *Fig. 15*, in einiger Entfernung vor dem beobachteten Auge A eine Scale aufgestellt. Symmetrisch zur Linie $A B$ werden die beiden Stellungen des Ophthalmometers (von dem man aber nur das Fernrohr benutzt) in G_1 und G_2 construirt und bezeichnet, so dafs man das Instrument leicht aus der einen in die andere bringen kann. Wenn das Fernrohr in G_1 steht, wird in G_2 ein Schirm mit einer Öffnung aufgestellt, durch welche eine grofse und helle Lampenflamme ihr Licht auf das Auge A wirft. Das Gesichtszeichen F wird so gestellt, dafs die Axe der Hornhaut nach dem Punkte B gerichtet ist. Aufserdem wird an der Scale verschiebbar noch ein kleiner Schirm mit einer engeren, durch ein blaues Glas verschlossenen Öffnung angebracht, hinter der ein Wachslichtchen steht. Die ganze Anordnung, wie sie dem beobachteten Auge erscheint, ist in *Fig. 57* dargestellt. F ist das Gesichtszeichen, E der Schirm mit dem blauen Lichtchen. Man verschiebt E so lange, bis sich der Hornhautreflex des blauen Lichts mit dem Linsenreflex der grofsen Flamme deckt, und merkt den Theilstrich der Scale, wo E steht. Dann vertauscht man die Stellungen des Fernrohrs und der Lampe, und wiederholt dasselbe Verfahren.

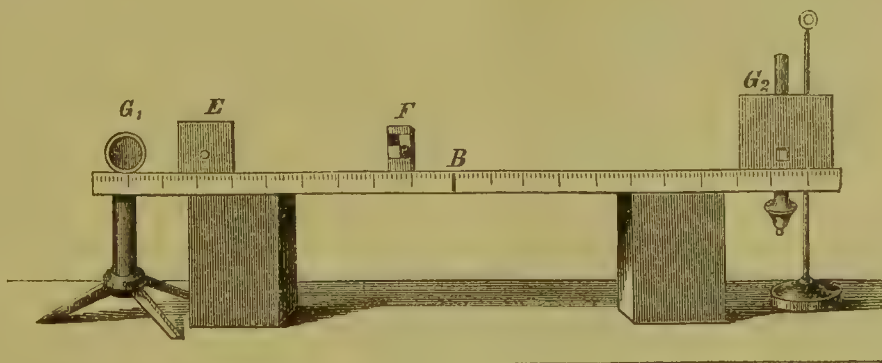


Fig. 57.

Die Orte der Hornhautbildchen, und den Durchschnittspunkt der Gesichtslinien des Beobachters im beobachteten Auge kann man ganz ebenso, wie ich es für die Iris beschrieben habe, bestimmen. Ich habe es für die folgenden Beobachtungen mit Berücksichtigung der Ellipticität der Hornhaut gethan.

Falls die Linse ein Rotationskörper wäre, dessen Axe genau mit der der Hornhaut zusammenfiele, müfste bei diesem Verfahren der spiegelnde Punkt der hinteren Linsenfläche, also auch sein scheinbarer Ort, der Durchschnittspunkt der Gesichtslinien des Beobachters, in der Axe der Hornhaut liegen. Meine Versuche zeigen, dafs das nicht der Fall sei.

In dem Auge O. H. ist die Abweichung allerdings so gering, dafs sie kleinen Beobachtungsfehlern in der Bestimmung der Hornhaut zugeschrieben werden könnte; aber in den beiden andern Augen ist sie dafür zu grofs. Ich gebe im Folgenden die Ordinaten der scheinbaren Lage des reflectirenden Punktes *c* für die drei untersuchten Augen an. Als Abstand von der Axe der Hornhaut habe ich angegeben die Länge des Lothes, welches von *c* auf die Hornhautaxe gefällt ist, und als Abstand von der Hornhaut die Länge zwischen dem Fufspunkte des Lothes und dem Scheitelpunkte der Hornhaut. Die so gefundene Lage des Punktes *c* ist immer nur eine scheinbare, wie sie dem Beobachter durch die Linse und Hornhaut erscheint, indessen ist die Abweichung von der wirklichen Lage jedenfalls nicht sehr bedeutend, da die hintere Linsenfläche dem zweiten Knotenpunkte des Auges sehr nahe liegt. Die Brechung in der Hornhaut kann berechnet, und dadurch die Lage des Punktes *c* gefunden werden, wie sie einem in der wässrigen Feuchtigkeit stehenden Beobachter erscheinen würde. Die Bezeichnung scheinbare Lage in Luft und in wässriger Feuchtigkeit erklärt sich hiernach. Es sind die Resultate zweier Versuchsreihen angegeben.

Scheinbare Lage des Punktes *c* der hinteren Linsenfläche.

		O. H.	B. P.	J. H.
Abstand von der Hornhaut	in Luft	6,763 6,788	7,013 6,993	6,655 6,662
	in Hum. aq.	6,899 6,932	7,162 7,189	6,979 6,989
Abstand von der Hornhautaxe nach der Nase zu	in Luft	0,034 0,173	0,190 0,236	0,194 0,284
	in Hum. aq.	0,026 0,133	0,143 0,177	0,146 0,213

Die scheinbare Lage des Punktes *c*, von der wässrigen Feuchtigkeit aus gesehen, ist nun immer noch nicht seine wahre Lage, da die von ihm kommenden Lichtstrahlen noch in der Linse gebrochen werden. Leider lassen sich die optischen Constanten der Linse an den lebenden Augen noch nicht ermitteln. Glücklicher Weise hat aber die Brechung in der Linse einen höchst geringen Einfluss auf die scheinbare Lage des Punktes *c*, weil dieser ihrem hinteren Knotenpunkte sehr nahe liegt, und wir brauchen deshalb an dem Abstande des Punktes *c* von der Hornhaut nur eine kleine Correction anzubringen, die wir nach den optischen Constanten todter Linsen bestimmen können. Die wahre Entfernung des Punktes *c* von der Hornhautaxe läfst sich dagegen nicht bestimmen, weil die Linsenflächen offenbar schief von der Hornhautaxe geschnitten werden, und wir die Gröfse dieser Abweichung, welche von grofsem Einflufs auf die scheinbare seitliche Verschiebung des Punktes *c* ist, nicht kennen.

Ein durch eine Convexlinse gesehener Punkt, der nahe hinter ihrem zweiten Knotenpunkte liegt, wird scheinbar vorgerückt um die Entfernung ihrer Knotenpunkte von einander, ein Theil dieser Verschiebung wird aber wieder dadurch aufgehoben, dafs die Distanz des Bildes vom ersten Knotenpunkte nach hinten gerechnet, etwas gröfser ausfällt, als die wahre Entfernung des Punktes vom zweiten Knotenpunkte ist. Ist für eine in wässriger Feuchtigkeit liegende Linse die Entfernung der Knotenpunkte von einander d, die Entfernung des Punktes c vom hinteren Knotenpunkte a, und p die Brennweite der Linse, so ist die scheinbare Verschiebung x des Punktes c nach vorn, wenn man die höheren Potenzen von $\frac{a}{p}$ vernachlässigt, gleich

$$x = d - \frac{a^2}{p}$$

In LISTING's schematischem Auge ist für die in wässriger Feuchtigkeit liegende Linse:

$$d = 0{,}203 \text{ mm}$$
$$a = 1{,}424 \text{ „}$$
$$p = 44{,}301 \text{ „}$$
$$x = 0{,}157 \text{ „}$$

Die Messungen an todten Linsen (S. 102) ergaben:

$$a = 1{,}546 \qquad 1{,}499$$
$$p = 45{,}14 \qquad 47{,}43,$$

was mit LISTING's Annahmen hinreichend übereinstimmt; d konnte ich leider nicht genau genug bestimmen, weil sich in dieser sehr kleinen Gröfse die Fehler in der Bestimmung der Dicke der Linse und der Abstände der beiden Knotenpunkte von den betreffenden Linsenflächen addirten.

Wende ich den gefundenen Werth der Correction x auf die von mir durchgemessenen Augen an, (wie dies auszuführen, wird in § 12 beschrieben werden), so ergiebt sich:

		O. H.	B. P.	J. H.
Abstand vom Scheitel der Hornhaut	der hinteren Linsenfläche	7,172	7,232	7,141
	der Pupille	4,024	3,597	3,739
Dicke der Linse in mm:		3,148	3,635	3,402

Diese Werthe der Linsendicke sind kleiner, als man sie an todten Linsen gefunden hat.

KRAUSE giebt an, an solchen 1¾ bis 2⅖ par. Lin. (4,05 bis 5,4 mm) gefunden zu haben; ich selbst fand 4,2 und 4,3 mm. Nun wölbt sich die vordere Linsenfläche in der Pupille ein wenig, und ihre Mitte tritt deshalb etwas vor die Ebene des Kreises hervor, in der die Pupille ihr anliegt, und diese Wölbung könnte der Dicke der Linse noch zugerechnet werden. Die Höhe der Wölbung beträgt nach den in den Messungen an lebenden Augen von mir gefundenen Werthen des Durchmessers der Pupille und des Krümmungshalbmessers der vorderen Linsenfläche:

O. H.	B. P.	J. H.
0,266	0,166	0,153

dann würde die Dicke der Linse:

3,414	3,801	3,555.

Aber auch diese Werthe reichen noch nicht an die der todten Linsen, und doch ist es auch fraglich, ob man die ganze Höhe der Wölbung hinzurechnen darf, da dem Rande der Pupille, da wo er der Linse anliegt, auch noch eine Dicke von einigen Hundertel Millimeter gegeben werden muss, um welche der von vorn sichtbare Rand von der Linsenfläche entfernt bleiben wird. Andererseits erscheint es unwahrscheinlich, dafs bei diesen Messungen ein Fehler von einem halben Millimeter begangen sein sollte.

Auch neuere Messungen bestätigen dies Ergebnifs. Herr A. v. REUSS[1] findet bei Emmetropen zwischen 3,5 bis 4,19 Linsendicke, bei Kurzsichtigen sogar nur 2,97 bis 3,68. Um die Reflexe zu verstärken hat er DRUMMOND'sches Licht, Herr ROSOW[2] vor ihm Sonnenlicht angewendet.

---

[1] A. v. REUSS, *Gräfe's Archiv für Ophthalm.* XXIII. (4). S. 241—243.
[2] B. ROSOW. *Gräfe's Archiv für Ophthalm.* XI. (2). S. 129.

83 Da der jüngere Krause die Brechungsverhältnisse von Kalbslinsen unmittelbar nach dem Tode und 24 Stunden später merklich gleich gefunden hat, so ist es unwahrscheinlich, dafs die Linse durch Aufnahme von Wasser sich verdicke. Dann müssten wir nämlich eine Abnahme des Brechungsvermögens erwarten. Dagegen erscheint es möglich, dafs dieser Unterschied mit den Veränderungen der Linse beim Fern- und Nahesehen zusammenhängt, worauf wir unten in § 12 noch zurückkommen werden.

Lage der Cardinalpunkte des Auges.

Es bleibt noch übrig auseinander zu setzen, in wie weit sich bis jetzt die optischen Cardinalpunkte des Auges bestimmen lassen.

84 Nennen wir r den Krümmungsradius der Hornhaut, und n das Brechungsvermögen der wässrigen Feuchtigkeit, so ist die vordere Brennweite der Hornhaut nach § 9 Gleichung 3 a) und 3 b):

$$F_2 = \frac{r}{n-1},$$

die hintere Brennweite derselben:

$$F_3 = \frac{n.r}{n-1},$$

Nach Listing's Annahmen wird:

$$F_1 = 23\frac{9}{13}, \quad F_2 = 31\frac{9}{13}.$$

Nehmen wir nach den Beobachtungen von Senff $r = 7{,}8$, was auch ungefähr mit dem Mittel meiner Beobachtungen stimmt, und nach W. Krause $n = 1{,}342$, so wird:

$$F_1 = 22{,}81, \quad F_2 = 30{,}61.$$

Listing giebt der Linse seines schematischen Auges das Brechungsverhältnifs $\frac{16}{11}$, eine Dicke von 4 mm und Krümmungsradien von 10 und 6 mm. Nach § 9 Gleichung 13), 13 a) und 13 b) giebt dies für den Fall, wo die Linse in wässriger Feuchtigkeit liegt, die Brennweite 43,796 mm, den Abstand der Hauptpunkte von einander 0,2461 mm, den Abstand des vorderen Hauptpunktes von der vorderen Linsenfläche 2,3462, und den des hinteren von der hinteren Fläche 1,4077. Diese Annahmen stimmen sehr nahe überein mit den vorher angeführten Werthen, welche ich selbst an zwei Krystallinsen menschlicher Leichen durch directe Messung gefunden habe. Dafs es bisher unmöglich sei, aus der Form und den Brechungsindices der verschiedenen Linsenschichten die Brennweite zu berechnen, ist oben auseinandergesetzt und namentlich geht aus dem über diese Brennweite aufgestellten Theorem hervor, dafs es unrichtig ist, die Krystallinse durch eine homogene Linse ersetzen zu wollen, welche die Form und das mittlere Brechungsvermögen derselben habe, wie das von den älteren Optikern meistens geschah, sondern dafs im Gegentheile einer solchen Linse ein höheres Brechungsvermögen als das ihrer dichtesten Theile beigelegt werden müsse. Für die Linse eines Ochsen fand Senff[1] für dieses totale Brechungsvermögen 1,539, während Grenzschicht und Kerntheil die Werthe 1,374 und 1,453 ergaben. Die aus meinen Messungen folgenden Werthe des totalen Brechungsvermögens sind niedriger (1,4519 und 1,4414), und entsprechen etwa nur dem Mittel der Werthe, welche W. Krause für das Brechungsverhältnifs des Kerns gefunden hat (Max. 1,4807, Min. 1,4252; Mittel 1,4541). Listing hat vor meinen und W. Krause's Untersuchungen damit sehr übereinstimmend $\frac{16}{11} = 1{,}4545$ gewählt.

Sollte sich der Unterschied zwischen todten und lebenden Linsen, den meine Messungen ergaben, als constant herausstellen, so würde Listing's schematisches Auge wahrscheinlich nur einem nahesehenden Auge entsprechen, und wir würden der Linse

---

1 Volkmann Artikel „Sehen" in R. Wagner's *Handwörterbuch d. Physiologie.* Bd. III. S. 290.

eines fernsehenden Auges eine gröfsere Brennweite und geringere Dicke beilegen müssen.

Die Entfernung der vorderen Linsenfläche von der vorderen Hornhautfläche hat Listing gleich 4 mm gesetzt, was dem von mir untersuchten kurzsichtigen Auge O. H. entspricht. Bei kurzsichtigen Augen pflegt überhaupt die vordere Augenkammer tiefer, die Iris flacher zu sein. Bei den übrigen beiden normalsichtigen Augen war die Entfernung geringer. Bei allen dreien lag die hintere Linsenfläche vor dem Krümmungsmittelpunkte der Hornhaut. Ich vermuthe deshalb, dafs bei normalsichtigen Augen die Linse im Allgemeinen etwas näher der Hornhaut liegt, als Listing angenommen hat. Jedenfalls würde aber auch der Einflufs dieser Abweichung sehr gering sein.

Wenn die Brennweiten der Hornhaut, die Lage der Hauptpunkte und die Brennweiten 85
der Linse gegeben sind, sind die Cardinalpunkte des ganzen Auges nach § 9 Gleichung 11 a) bis 11 f) zu finden. Die Werthe, welche Listing aus seinen Angaben berechnet hat, sind schon oben angegeben.

Von den Cardinalpunkten am wichtigsten für die Bestimmung der Lage der Bilder auf der Netzhaut sind uns die Knotenpunkte des Auges. Glücklicher Weise kann deren Lage jetzt nicht mehr vielem Zweifel unterworfen sein.

Derjenige Punkt, dessen Bilder die beiden Knotenpunkte sind, liegt nach den in § 9 angegebenen Methoden zur Auffindung dieser Punkte zwischen dem Knotenpunkte der Hornhaut, d. h. ihrem Krümmungsmittelpunkte und dem ersten Hauptpunkte der Linse, und seine Abstände von diesen beiden Punkten verhalten sich wie die kleinere Brennweite der Hornhaut zu der der Linse, also nahe wie 1 zu 2. In Listing's schematischem Auge beträgt der Abstand des vorderen Hauptpunktes der Linse vom Mittelpunkte der Hornhaut, der bei ihm in die hintere Linsenfläche fällt, 1,627 mm, nach meinen Messungen an lebenden Augen kann die hintere Linsenfläche bis zu 1 mm vor dem Mittelpunkte der Hornhaut liegen; jene Entfernung würde also bis etwa 2,6 steigen können. Der Punkt also, dessen Bilder die beiden Knotenpunkte sind, würde 0,54 bis 0,87 mm vor dem Krümmungsmittelpunkte der Hornhaut liegen, ein, wie man sieht, sehr enges Intervall für seine Lage. Der erste Knotenpunkt ist sein durch die Hornhaut entworfenes Bild. Bilder von Objecten, die sehr nahe vor dem Krümmungsmittelpunkte einer kugeligen brechenden Fläche liegen, liegen sehr wenig vor ihrem Objecte. Nehmen wir Listing's Werthe für die Brennweiten der Hornhaut und Linse, so liegt bei seinen Annahmen der vordere Knotenpunkt 0,758 mm vor dem Mittelpunkte der Hornhaut. Wenn dagegen der Punkt, dessen Bild er ist, 0,87 mm vor dem Mittelpunkte der Hornhaut läge, würde der Knotenpunkt etwa 1,16 mm vor diesem liegen.

Wir werden daher schwerlich fehlen, wenn wir annehmen, dafs in normalen Augen der vordere Knotenpunkt $^3/_4$ bis $^5/_4$ mm vor dem Mittelpunkt der Hornhaut liegt.

Zu erwähnen ist hier noch ein Versuch von Volkmann[1], auf experimentellem Wege am menschlichen Auge die Lage des Knotenpunktes zu finden. Ich habe oben erwähnt, dafs, wenn die Strahlen eines Lichts von der äufseren Seite her in das Auge fallen, das Flammenbildchen namentlich bei blonden Personen im inneren Augenwinkel sichtbar werden kann. Er mafs den Abstand dieses Bildes von der Hornhaut, während zugleich die Richtung der einfallenden Strahlen und der Gesichtslinie passend bestimmt wurde. Er zeichnete dann den horizontalen Querschnitt des menschlichen Auges, bestimmte in der Zeichnung den Punkt, wo das Netzhautbild durch die Sclerotica erschienen war, und legte durch diesen Punkt eine Linie, welche die Augenaxe unter demselben Winkel schnitt, den die einfallenden Strahlen mit der Gesichtslinie gebildet hatten. Den Durchschnittspunkt sah er als Knotenpunkt an. Er findet im Mittel von fünf Personen, dafs die Knotenpunkte 3''',97 (8,93 mm) hinter der Hornhaut liegen. Jedenfalls ist dieser Werth zu grofs, weil die Knotenpunkte nach dieser Bestimmung hinter dem Krümmungsmittelpunkte der Hornhaut liegen würden, während sie nothwendig vor ihm liegen müssen. Die Abweichung in Volkmann's Resultate erklärt sich einmal daraus, dafs er

[1] Volkmann, R. Wagner's *Handwörterbuch d. Physiologie.* Art. Sehen. S. 286.

den Unterschied zwischen Augenaxe und Gesichtslinie noch nicht kannte, und daraus, dafs die Lichtstrahlen bei diesem Versuche die brechenden Flächen des Auges unter sehr grofsen Einfallswinkeln treffen, und die auf die Knotenpunkte und Hauptpunkte bezüglichen Sätze streng genommen nur für beinahe senkrechte Incidenz gelten. Auch Burow[1] bemerkte deshalb bei der Wiederholung von Volkmann's Versuchen über den Knotenpunkt in weifsen Kaninchenaugen, dafs bei sehr schiefen Incidenzen die Netzhautbilder der Augenaxe näher fallen, als sie es sollten, wenn alle Richtungslinien sich in einem Punkte schnitten. Beide Ursachen müssen dazu beitragen, bei Volkmann's Versuch den Abstand des Knotenpunktes von der Hornhaut etwas gröfser erscheinen zu lassen, als er wirklich ist.

86 Endlich will ich hier noch beschreiben, wie man die Centrirung des Auges, die Lage der Augenaxe und der Gesichtslinie untersuchen kann. Es dienen dazu die Spiegelbilder, welche die Hornhaut und die beiden Linsenflächen von einem vor dem Auge befindlichen hellen Lichte entwerfen.

Ueber das Aussehen dieser Spiegelbilder, und die Art, sie am besten zu beobachten, s. § 12. Es sei in *Fig. 58* $c\,d$ die Axe eines genau centrirten Auges, bei a das Auge des Beobachters, bei b ein Licht, es sei $a\,c = c\,b$ und $a\,c$ senkrecht auf $c\,d$. Unter diesen Umständen würden, wie leicht ersichtlich ist, die in der Axe gelegenen Scheitel der drei reflectirenden Flächen, der Hornhaut, der vorderen und hinteren Linsenfläche, Licht, welches von b auf sie fällt, von b nach a reflectiren, da Alles auf beiden Seiten symmetrisch sein soll; und wenn das Auge und Licht ihren Platz tauschten, würde dasselbe wieder der Fall sein müssen, und dabei würden die drei reflectirenden Punkte in derselben perspectivischen Stellung zu einander bleiben. Namentlich würde in beiden Stellungen der Reflex von der vorderen Linsenfläche etwa in der Mitte zwischen den beiden anderen erscheinen müssen, da der scheinbare (durch die Hornhaut gesehene) Ort der vorderen Linsenfläche etwa in der Mitte zwischen der Hornhaut und dem scheinbaren Orte der hinteren Linsenfläche sich befindet.

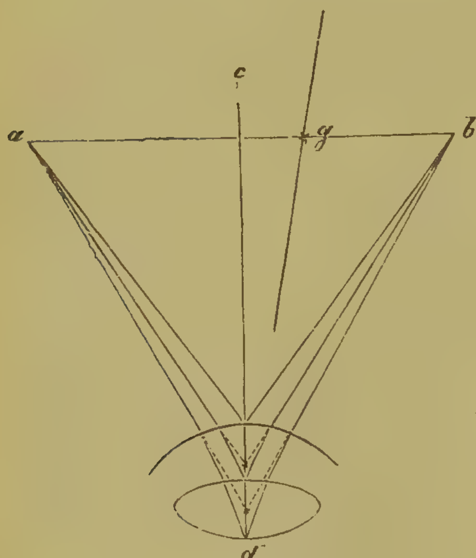


Fig. 58.

Die Untersuchung des Auges in dieser Weise ist nun leicht auszuführen. Es sei $a\,b$ ein horizontaler Mafsstab, an dessen Enden passende Oeffnungen für das Auge und das Licht angebracht sind. Dem untersuchten Auge d werde ein Platz in der Linie $c\,d$ angewiesen, welche auf der Mitte von $a\,b$ senkrecht steht, und man gebe ihm einen Fixationspunkt an einem beweglichen Körper g, den man so lange verschiebt nach oben und unten, nach rechts und links, bis der Beobachter den Reflex der vorderen Linsenfläche zwischen dem der Hornhaut und dem der hinteren Linsenfläche erblickt.[2] Dann vertausche er den Ort des Lichts und seines Auges, und versuche, ob er bei derselben Stellung des Fixationspunktes auch von der anderen Seite her die drei Reflexe in der

---

[1] A. Burow, *Beiträge zur Physiologie d. menschl. Auges.* S. 56—60.

[2] Den Einwänden von Herrn Ehrnrooth (*Pflüger's Archiv.* Bd. 35. S. 390.) gegenüber, bemerke ich, dass ganz kleine Aenderungen in der Stellung des Gesichtszeichens g das mittlere Bild auffällig verschieben. Für die Messung des Winkels cdg ist es daher fast indifferent, ob man die Abstände der Bilder gleich macht, oder den Abstand der äusseren im Verhältniss 12 : 10 theilt. Der genannte Autor hat nicht einmal die leicht auszuführende Probe auf seine Rechnungen gemacht, ob überhaupt irgend ein Theilungsverhältniss des Abstandes zu finden ist, bei dem sich ein lebendes Auge symmetrisch verhält.

angegebenen Stellung erblicken kann. Ist das beobachtete Auge richtig centrirt, so mufs es offenbar möglich sein, eine Stellung des Fixationspunktes zu finden, welche die angegebene Forderung erfüllt.

Ich habe noch kein menschliches Auge gefunden, welches dem entsprochen hätte. Wenn von der einen Seite gesehen die drei Reflexe die richtige Stellung hatten, war dies nicht mehr der Fall von der anderen Seite her; man mufste dann das Fixationszeichen mehr oder weniger verschieben, um die richtige Stellung wieder hervorzubringen.

Bei den drei Augen, für welche ich das System von Messungen angestellt habe, mufste der Fixationspunkt sich immer etwas oberhalb der Ebene *a b d* befinden. Die Gesichtslinie lag immer auf der Nasenseite der Linie *c d*. Ihre horizontale Projection bildete mit der Linie *c d* unter den angegebenen Umständen folgende Winkel:

Beobachter.	Auge.	Licht kommt von der Schläfenseite	Licht kommt von der Nasenseite
Helmholtz	O. H.	3° 47′	4° 57′
	B. P.	5° 6′	8° 12′
	J. H.	5° 43′	7° 44′
Knapp[1]	J. S.	4° 50′	6° 48′
	H. S.	3° 40′	6° 22′
	F. S.	4° 36′	7° 56′
	H. Sch.	6° 4′	5° 39′

Daraus folgt, dafs das menschliche Auge nicht genau centrirt ist. Da jedoch die Unterschiede der zusammengehörigen Winkel verhältnifsmäfsig klein sind, so erfüllt die Linie *c d* für die in den Versuchen gefundenen Stellungen der beobachteten Augen wenigstens annähernd die Ansprüche, welche man an eine Augenaxe zu machen hat, und 87
man mag als Winkel zwischen der horizontalen Projection der Gesichtslinie und der Linie, welche einer Augenaxe am besten entspricht, das arithmetische Mittel aus den angeführten Winkeln nehmen. Diese Linie fällt nach meinen Untersuchungen auch nahe genug mit der Hornhautaxe zusammen, und geht durch den Mittelpunkt des Hornhautumfangs.

Derjenige, welcher zuerst eine klare Vorstellung von der Brechung der Strahlen im Auge und von der Entstehung und Lage des Netzhautbildchens gehabt hat, ist Kepler. Vor ihm hatte allerdings schon Maurolycus die Krystallinse des Auges mit einer Glaslinse verglichen, und behauptet, dafs sie die Strahlen nach der Axe hin breche, aber er läugnete, dafs auf der Netzhaut ein umgekehrtes Bild entworfen werde, weil wir ja sonst Alles verkehrt sehen müfsten. Auch Porta, der Erfinder der *Camera obscura*, verglich das Auge mit einer solchen, meinte aber, dafs die Bilder auf der Krystallinse entworfen würden. Erst Kepler, der überhaupt die Grundsätze der Theorie der optischen Instrumente aufgefunden hat, läfst auf der Netzhaut ein umgekehrtes optisches Bild entstehen, und stellt als Bedingung des deutlichen Sehens hin, dafs die Strahlen eines leuchtenden Punktes auf einen Punkt der Netzhaut vereinigt werden. Kepler's Theorie wurde noch

[1] H. Knapp, *Gräfe's Archiv f. Ophthalm.* VI. (2) S. 8.

weiter ausgeführt durch den berühmten Jesuiten SCHEINER[1], der den Bau des Auges, die Brechung in den Feuchtigkeiten weiter untersuchte Er bewies, dafs die optischen Bilder auf der Netzhaut entworfen werden, indem er an Augen von Thieren die Netzhaut hinten frei legte. An einem menschlichen Auge stellte er diesen Versuch 1625 zu Rom an. Die brechende Kraft der wässrigen Flüssigkeit setzt er der des Wassers gleich, die Linse dem Glase, den Glaskörper zwischen beide. HUYGENS[2] endlich verfertigte eine künstliche Nachbildung des Auges, an der er die wesentlichsten Vorgänge des Sehens, den Nutzen der Brillen u. s. w. auseinandersetzte.

Die Theorie KEPLER's behielt von nun an ziemlich allgemeine Anerkennung, wenn auch noch einzelne Liebhaber paradoxer Theorien sich in Widersprüchen dagegen gefielen. So N. TH. MÜHLBACH[3] und CAMPBELL[4], welche die Existenz des Netzhautbildchens läugnen, LEHOT[5], der im Glaskörper ein räumliches Bild der Gegenstände entstehen läfst. PLAGGE[6] läfst das Auge wie einen Spiegel wirken, und hält das durch Spiegelung auf der Hornhaut entstehende Bildchen für das Object des Sehens. J. READE[7] stimmt ihm bei und läfst es durch die Nerven der Hornhaut empfinden. MAYER[8] widerlegt die Ansicht von PLAGGE, stellt aber eine ebenso wunderliche auf, dafs die Netzhaut als Hohlspiegel wirke. Ebenso läfst ANDREW HORN[9] das Bild gegen den Glaskörper reflectiren und von hier aus auf den Sehnerven wirken.

Was die Lage der optischen Cardinalpunkte betrifft, so erhob sich zunächst eine Schwierigkeit für den hinteren Brennpunkt, weil nach der Rechnung, die auf die gemessenen Dimensionen und Brechungsverhältnisse des Auges gestützt war, dieser Punkt hinter die Netzhaut zu fallen schien. Der Grund davon lag darin, dafs man für die Krystallinse das mittlere Brechungsverhältnifs ihrer einzelnen Schichten wählen zu müssen glaubte[10]. VALLÉE[11] glaubte deshalb annehmen zu müssen, dafs das Brechungsverhältnifs des Glaskörpers von vorn nach hinten zunehme. PAPPENHEIM[12] will wirklich solche, wenn auch sehr kleine Unterschiede durch den Versuch gefunden haben. Ueber die Lage der Knotenpunkte des Auges herrschte vor den theoretischen Arbeiten von GAUSS einige Verwirrung unter Physikern und Physiologen, weil die Theorie der optischen Instrumente bis dahin sich ausschliefslich mit Systemen brechender Flächen beschäftigt hatte, deren Entfernung von einander vernachlässigt werden konnte, wie das z. B. bei den Objectivgläsern der Fernröhre der Fall war. Im Auge ist die Entfernung der
88 brechenden Flächen von einander im Vergleich zur Brennweite des ganzen Systems aber ziemlich beträchtlich, und wegen der mangelnden Ausbildung der Theorie wufste man die Fragen, auf die es ankam, nicht scharf zu stellen. Man suchte lange nach dem Punkte, der im Auge dem optischen Mittelpunkte der Glaslinsen entspräche und dadurch charakterisirt würde, dafs der durch ihn gegangene Strahl ungebrochen durch die Augenmedien ginge. Wenn wir uns beide Knotenpunkte in einen zusammenzuziehen erlauben, so würde dieser dem gesuchten Punkte entsprechen. Man verwechselte namentlich auch diesen Punkt mit demjenigen Punkte, in welchem sich Linien schneiden, welche durch die im Gesichtsfelde sich deckenden Punkte verschieden entfernter Gegenstände gelegt sind. Der letztere, den wir Kreuzungspunkt der Visirlinien nennen wollen, ist, wie wir im nächsten Paragraphen zeigen werden, der Mittelpunkt des von der Hornhaut

---

1 C. SCHEINER, *Oculus.* Inspruck 1619.
2 C. HUYGENS, *Dioptrica* in *Opera posthuma.* Lugduni 1704. p. 112.
N. TH. MÜHLBACH, *Inquisitio de visus sensu.* Vindob. 1816.
4 CAMPBELL, *Annals of philosophy.* X. 17. — *Deutsches Archiv.* IV. 110.
5 LEHOT, *Nouvelle Théorie de la Vision.* Paris 1825.
PLAGGE, *Hecker's Annalen.* 1830. S. 404.
J. READE, *Annals of philos.* XV. 260.
8 MAYER, MUNCKE Art. Gesicht. in GEHLER'S *Wörterbuch.* Das dortige Citat ist falsch.
9 A. HORN, *The seat of vision determined.* London 1813.
10 L.F.MOSER in *Dove's Repertorium.* V. 337—349*. — J.D.FORBES, *Proc. Edinb. Roy. Soc.* 1849. Dec. p. 251.
11 L. L. VALLÉE, *Comptes rendus.* 1845. XIV. 481
12 PAPPENHEIM, *Comptes rendus.* XXV. 901.

entworfenen Bildes der Pupille, und wesentlich vom Knotenpunkte verschieden. MUNCKE[1] identificirt beide Punkte und verlegt sie in die Mitte der Linse, BARTELS[2] dagegen in das Centrum der Hornhaut. VOLKMANN[3] nennt den Punkt, wo sich Linien, die von einzelnen Punkten der Netzhautbilder nach den entsprechenden Bildern des Objects gezogen werden, schneiden, Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen, später, nach MILE's Einwendungen, der Richtungslinien. Er zeigt experimentell an Augen weifser Kaninchen, dafs wirklich alle Richtungslinien in einem Punkte sich schneiden, und bestimmt die Lage dieses Punktes, welcher zwischen beide Knotenpunkte fallen mufs, für das Kaninchenauge. Er findet, dafs derselbe hinter die Linse fällt. Er versuchte denselben Punkt nach einer anderen Methode am lebenden menschlichen Auge zu finden. Zwei 6 Zoll vom Auge entfernte Haarvisire werden durch zwei dem Auge nähere Diopter betrachtet, und letztere so eingestellt, dafs die Haare gleichzeitig in der Mitte der Diopteröffnungen erscheinen. Jedes Haar mit der zugehörigen Diopteröffnung, durch eine gerade Linie verbunden, giebt eine Visirlinie. VOLKMANN würde also den Kreuzungspunkt der Visirlinien im Auge haben finden können, wenn die von ihm beobachteten Personen im Stande gewesen wären, gleichzeitig und ohne Bewegung des Auges beide Haare in ihren Dioptern zu sehen. Dies ist aber aufserordentlich schwer, weil man dann nur eines direct sehen kann, und das andere durch indirectes Sehen auf den Seitentheilen der Netzhaut erkennen mufs. Die Experimentirenden haben deshalb ohne Zweifel die beiden Diopter nach einander direct betrachtet, und ihre Visirlinien schnitten sich im Drehungspunkte des Auges, den VOLKMANN demzufolge für identisch mit dem Kreuzungspunkte der Richtungslinien erklärte.

MILE[4], KNOCHENHAUER[5] und STAMM[6] stritten gegen VOLKMANN's Folgerungen. Ersterer zeigte, dafs Richtungslinien und Visirlinien nicht nothwendig identisch seien, und erklärte den Mittelpunkt der Hornhaut für den Kreuzungspunkt der Richtungslinien, weil er die Brechung in der Linse glaubte vernachlässigen zu dürfen. Daraus folgert er denn, dafs die Richtungslinien nicht nothwendig durch die Mitte eines Zerstreuungskreises zu gehen brauchen, welcher im Auge von einem nicht deutlich gesehenen Objecte entworfen wird. KNOCHENAUER suchte MILE's Beweis, dafs das Decken der Bilder im Gesichtsfelde unabhängig sei von den Richtungslinien, zu vereinfachen, und vermeidet dabei MILE's bei dem damaligen Stande der theoretischen Kenntnisse allerdings bedenkliche und in der That nur annähernd richtige Voraussetzung, dafs der Kreuzungspunkt der Richtungslinien für verschiedene Objectabstände gleich sei. Auch BUROW[7] widerlegte VOLKMANN's Folgerungen, benutzte dessen Methode, um den Drehpunkt des Auges zu bestimmen, und schlug einen neuen Weg ein, den Kreuzungspunkt der Richtungslinien zu bestimmen, der aber aus einem von LISTING später aufgedeckten Grunde auch nicht zum Ziele führte.

MOSER[8] war der Erste, der die theoretischen Arbeiten von GAUSS[9] und BESSEL[10] auf das Auge anwendete, und aus den bis dahin ausgeführten Bestimmungen der Form der brechenden Flächen und der Brechungsverhältnisse die Lage der beiden Knotenpunkte, die er übrigens Hauptpunkte nennt, berechnete. Die Werthe, welche er für die Entfernung dieser Punkte von der Hornhaut fand, waren 3,19 und 3,276 Par. Lin. (7,18 und 7,37 mm). Da er aber als Brechungsverhältnifs der Krystallinse BREWSTER's Mittelwerth 1,3839 angenommen hatte, und die Strahlen ferner Lichtpunkte sich dabei erst

---

[1] MUNCKE, GEHLER'S *physik. Wörterbuch* neu bearb. Leipzig 1828. Art. Gesicht. Bd. IV. 2. S. 1434*.

[2] E. D. A. BARTELS, *Beiträge zur Physiol. d. Gesichtssinns.* Berlin 1834. S. 61.

[3] A. W. VOLKMANN, *Neue Beiträge zur Physiol. d. Gesichtssinns.* Leipzig 1836. Kap. IV. — *Poggendorff's Ann.* XXXVII. 342.

[4] J. MILE, *Poggendorff's Ann.* XLII. 37—71. 235—263*. Dagegen A. W. VOLKMANN, *Pogg. Ann.* XLV. 207—226*.

[5] K. W. KNOCHENHAUER, *Pogg. Ann.* XLVI. 248—258*.

[6] W. STAMM, *Pogg. Ann.* LVII. 346—382*.

[7] A. BUROW, *Beiträge zur Physiologie u. Physik d. menschl. Auges.* Berlin 1841. S. 26—93.

[8] L. F. MOSER, *Dove's Repertorium der Physik.* V. 337 u. 373.

[9] C. F. GAUSS, *Dioptrische Untersuchungen.* Göttingen 1841.

[10] F. W. BESSEL, *Astronomische Nachrichten.* XVIII. Nr. 415.

hinter der Netzhaut vereinigten, glaubte er den Radius der Hornhaut verkleinern zu müssen von 3''',39 auf 2''',88, und berechnete danach noch andere Werthe für den Abstand der Knotenpunkte von der Hornhaut, nämlich 2''',835 und 2''',890 (6,38 und 6,50 mm).

Listing [1] erörterte die Eigenschaften der Haupt- und Knotenpunkte (welchen letzteren er den Namen gab) in ihrer Beziehung zum Auge, gab angenäherte Werthe für ihre Lage, und hob namentlich hervor, dafs der Brechungscoefficient der Linse, wenn man diese sich homogen denke, höher gesetzt werden müsse als der ihres dichtesten Theils. Volkmann [2] machte dann noch den schon oben erwähnten Versuch, die Lage der Knotenpunkte im lebenden menschlichen Auge experimentell zu bestimmen. Endlich gab Listing [3] neben einer vollständigen mathematischen Theorie eine Berechnung der Zahlenwerthe nach den besten bis dahin ausgeführten Messungen.

---

90 ## § 11. Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut.

Wenn Licht von einem leuchtenden Punkte in das Auge fällt, so bildet dasjenige, welches durch die kreisförmige Pupille hindurchgegangen ist, hinter der Pupille einen Strahlenkegel, dessen Basis kreisförmig und nach vorn, dessen Spitze nach hinten gekehrt ist, und dem Bilde des leuchtenden Punktes entspricht. Jenseits ihres Vereinigungspunktes divergiren die Strahlen wieder. Es sei in *Fig. 59* a der leuchtende Punkt, $b_{,}\ b_{,,}$ die Pupille, c der Convergenzpunkt der Strahlen, $c\,d_{,}$ die Verlängerung des Strahles $b_{,}\ c$, ebenso $c\,d_{,,}$ die Verlängerung von $b_{,,}\ c$.

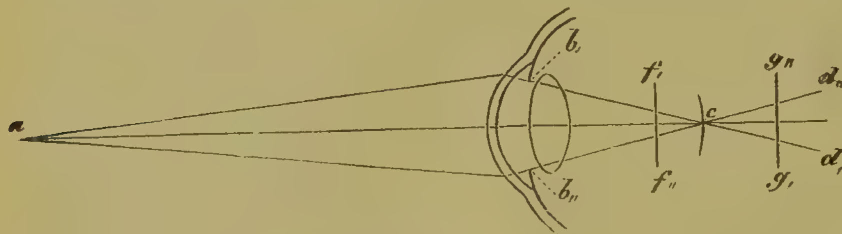


Fig. 59.

Wenn der Vereinigungspunkt der Strahlen gerade auf die Fläche der Netzhaut trifft, so beleuchtet der einzelne leuchtende Punkt a nur einen einzelnen Punkt c der Netzhaut, und es wird ein scharfes Bild des leuchtenden Punktes entworfen. Wenn aber die Netzhaut vor oder hinter dem Vereinigungspunkte der Strahlen, etwa in $f_{,}\ f_{,,}$ oder in $g_{,}\ g_{,,}$ von dem Strahlenkegel getroffen würde, so würde nicht blos ein einzelner Punkt, sondern eine dem kreisförmigen Durchschnitte des Strahlenkegels entsprechende Kreisfläche der Netzhaut erleuchtet werden. Man nennt einen solchen von dem Licht eines leuchtenden Punktes aufserhalb des Auges beleuchteten Kreis der Netzhaut einen Zerstreuungskreis. Die Kreisform entspricht, wie aus dem Gesagten erhellt, der kreisförmigen Gestalt der Pupille. Wird deren Form oder die Grundfläche des einfallenden Lichtkegels geändert, was namentlich auch dadurch geschehen kann, dafs man einen Schirm mit einer beliebig gestalteten kleinen Öffnung von kleinerem Durchmesser als die Pupille dicht

---

1 J. Listing. *Beitrag zur physiologischen Optik.* Göttingen 1845.
2 J. Volkmann, R. Wagner's *Handwörterbuch d. Physiologie.* Art. Sehen. S. 286*.
3 J. Listing, R. Wagner's *Handwörterbuch der Physiologie.* Art. *Dioptrik des Auges.*

vor die Hornhaut bringt, so erhalten auch die Zerstreuungsfelder eine entsprechende andere Form, welche, auf den mittleren Theilen der Netzhaut wenigstens, der Grundfläche des Strahlenkegels geometrisch ähnlich ist. Sehr kleine Zerstreuungsbilder im Auge, welche in geringer Entfernung vom Vereinigungspunkte der Strahlen auf der Netzhaut entworfen werden, zeigen auffallende Abweichungen von diesen Regeln, wovon wir in § 14 weiter handeln werden.

Objectiv kann man das Entstehen der Zerstreuungsbilder leicht nachahmen, indem man eine Sammellinse aufstellt, vor ihr in einiger Entfernung ein kleines Licht, oder besser einen Schirm mit einer engen Öffnung, durch welche ein Licht scheint, und das Bild der Lichtquelle hinter der Linse auf einem weifsen Papiere auffängt, welches man der Linse bald nähert, bald von ihr entfernt. Dabei sieht man, dafs nur in einer gewissen Entfernung von der Linse das Bild des Lichtpunktes scharf gezeichnet und punktförmig ist, sonst sich zu lichten Kreisen ausdehnt.

Bringt man vor der Linse als Object eine helle Linie an, z. B. einen schmalen Spalt in einem dunklen Schirme, hinter welchem ein Licht steht, so decken sich die Zerstreuungskreise der einzelnen hellen Punkte dieser Linie, wie in *Fig. 60 b* angedeutet ist, theilweise, und es erscheint statt der scharfen Linie *a* eine helle Figur ähnlich der *c*.

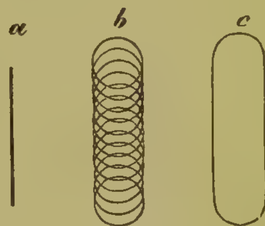


Fig. 60.

Wird eine scharf begrenzte gleichmäfsig helle Fläche in einem Zerstreuungsbilde abgebildet, so bleibt die Mitte der Fläche in unveränderter Helligkeit, die Ränder aber erscheinen verwaschen, so dafs an ihnen die Helligkeit der Mitte der Fläche allmälig in die Helligkeit des umgebenden Grundes übergeht.

Dergleichen Zerstreuungsbilder können nun auch im Auge entworfen werden. Allerdings können wir nicht die Netzhaut willkürlich hin- und herrücken gleich dem Papierschirme bei der beschriebenen objectiven Darstellung der Zerstreuungsbilder, aber wir können den leuchtenden Punkt dem Auge nähern und ihn davon entfernen, so dafs sein Bild im Glaskörper vor- und zurückweicht. Wie bei einem jeden optischen Systeme von kugeligen brechenden Flächen liegen die Bilder verschieden entfernter Gegenstände auch beim Auge in verschiedenen Entfernungen von den brechenden Flächen. Das Bild eines unendlich weit entfernten hellen Punktes liegt in der hinteren Brennebene des Auges, das Bild eines näheren leuchtenden Punktes hinter der Brennebene. Wenn also eines von diesen Bildern auf die Netzhaut fällt und scharf gezeichnet ist, so bildet das andere nothwendig einen Zerstreuungskreis. Daraus folgt:

Wir können verschieden weit vom Auge entfernte Gegenstände nicht gleichzeitig deutlich sehen.

Um sich davon zu überzeugen, halte man in der Entfernung von etwa 6 Zoll vor dem Auge einen Schleier oder ein anderes durchsichtiges Gewebe, und dahinter in etwa 2 Fufs Entfernung ein Buch, und schliefse ein Auge, *92*

so wird man sich leicht überzeugen, dafs man es in seiner Gewalt hat, nach einander bald die Fäden des Schleiers, bald die Buchstaben des Buches zu betrachten und deutlich zu sehen, dafs aber die Buchstaben undeutlich werden, während man die Fäden des Schleiers betrachtet, und dafs der Schleier nur noch als eine leichte gleichmäfsige Verdunkelung des Gesichtsfeldes erscheint, während man die Buchstaben fixirt. Wenn man, ohne die Richtung des Auges zu verändern, bald den näheren, bald den ferneren Gegenstand betrachtet, fühlt man bei jedem solchen Wechsel, dafs das Auge eine gewisse Anstrengung macht, um den Wechsel zu Stande zu bringen.

Denselben Versuch kann man mannigfach variiren. Man wende sich nach einem Fenster und halte etwa 6 Zoll vor dem Auge senkrecht eine Nadel, so dafs sie einen der horizontalen Stäbe des Fensters kreuzt, so kann man entweder die Nadel fixiren, während dabei der Stab des Fensterkreuzes als verwaschener dunkler Streifen erscheint, oder das Fensterkreuz und die Gegenstände der Landschaft draufsen fixiren, während die Nadel nur noch als ein verwaschener dunkler Streifen im Gesichtsfelde erscheint. Ebenso, wenn man durch ein Loch von 1 bis 2 Linien Durchmesser nach fernen Gegenständen sieht, kann man bald diese, bald die Ränder des Loches scharf sehen, nie aber beide zugleich. Indessen ist der Versuch in seiner ersten Gestalt am überraschendsten, und dabei zugleich jeder Verdacht, dafs eine Änderung in der Richtung der Sehaxe von Einflufs sei, am besten beseitigt.

Bei allen diesen Versuchen überzeugt man sich, dafs, wenn man auch nicht gleichzeitig zwei verschieden entfernte Gegenstände deutlich sehen kann, dies doch gelingt, indem man sie nach einander betrachtet, und dafs man willkürlich bald den einen, bald den anderen deutlich, mit scharf begrenzten Umrissen erblicken kann.

Die eigenthümliche Veränderung, welche im Zustande des Auges vor sich geht, um bald ferne, bald nahe Gegenstände deutlich zu sehen, nennt man die Accommodation oder Adaptation des Auges für die Entfernung des Objects.

Für sehr ferne Objecte kann sich die Entfernung des Objects sehr beträchtlich verändern, ohne dafs die Entfernung seines optischen Bildes von den Hauptpunkten des Auges sich merklich ändert. Wenn ein Auge für unendliche Entfernung accommodirt ist, so sind die Zerstreuungskreise auch für Objecte von etwa 12 Meter Entfernung immer noch so klein, dafs keine merkliche Undeutlichkeit des Bildes entsteht. Ist aber das Auge für einen nahen Gegenstand accommodirt, so erscheinen Gegenstände in sehr kleinen Distanzen vor oder hinter jenem schon undeutlich. Den Theil der Gesichtslinie, in welchem die bei einem gegebenen Accommodationszustande des Auges ohne merkliche Undeutlichkeit sichtbaren Objecte liegen, hat J. Czermak die Accommodationslinie genannt. Die Länge dieser Accommodationslinien ist desto gröfser, je weiter ihr Abstand vom Auge ist, und für einen sehr grofsen Abstand unendlich grofs.

Von dem angegebenen Verhalten kann man sich leicht überzeugen, wenn man vor einem bedruckten Blatte in der Entfernung eines oder einiger Zolle 93
eine Spitze als Fixationspunkt befestigt. Nähert man sich mit dem Auge der Spitze, so weit man sie deutlich sehen kann, und accommodirt das Auge für die Spitze, so erscheinen die Buchstaben undeutlich: je weiter man sich aber entfernt, immer das Auge für die Spitze accommodirend, desto deutlicher werden sie.

Eben weil die Zerstreuungskreise ferner Gegenstände sehr klein sind, wenn das Auge für andere ferne Gegenstände accommodirt ist, ist es auch möglich zu *visiren*, d. h. zu erkennen, ob verschieden entfernte Punkte an einer Stelle des Gesichtsfeldes liegen. Streng genommen kann man immer nur einen der beim Visiren betrachteten Punkte deutlich sehen, die anderen in gröfseren und kleineren Zerstreuungskreisen. Eine genaue Deckung zweier Punkte nehmen wir an, wenn der deutlich gesehene Punkt in der Mitte des Zerstreuungsbildes des anderen liegt. Eine Linie, welche durch zwei sich deckende Punkte gezogen ist, nennen wir *Visirlinie*. Die *Visirlinien* kreuzen sich in einem Punkte des Auges, nämlich im Mittelpunkte des von der Hornhaut entworfenen Bildes der Pupille, dem *Kreuzungspunkte der Visirlinien*.

Dafs bei der Accommodation nicht blos, wie mehrere Physiologen früher annahmen, die Art, wie das Netzhautbildchen empfunden wird, sich verändere, sondern dafs das optische Bild auf der Netzhaut selbst Veränderungen erleide, läfst sich am unzweifelhaftesten bei der Untersuchung eines lebenden Auges mit dem Augenspiegel nachweisen. Durch dieses Instrument, welches in § 16 beschrieben werden wird, kann man den Hintergrund des Auges, also die Netzhaut mit ihren Gefäfsen und die auf ihr entworfenen Bilder, deutlich sehen. Läfst man das beobachtete Auge einen Gegenstand in einer gewissen Entfernung fixiren, so findet man, dafs das Bild eines Lichtes, welches in derselben Entfernung steht, auf der Netzhaut ganz scharf entworfen wird, während man in dem hellen Grunde des Bildes auch die Gefäfse und sonstigen anatomischen Einzelheiten der Netzhaut deutlich sieht. Wenn man aber das Licht sehr nähert, wird sein Bild undeutlich, während die Einzelheiten des Gewebes der Netzhaut deutlich bleiben. Die Versuche, die Veränderungen der Bilder an todten Augen, denen man den hinteren Theil der Sclerotica und Chorioidea weggenommen hatte, oder an Augen weifser Kaninchen, deren Sclerotica sehr durchscheinend ist, zu sehen, sind meist gescheitert, weil unter diesen Umständen die Bilder überhaupt nicht mehr genau genug sind, um kleine Veränderungen an ihnen wahrzunehmen. Auch für das lebende Auge sind nur an verhältnifsmäfsig feinen Gegenständen die Veränderungen des Bildes bei veränderter Adaptation auffällig. Gröfsere Gegenstände erkennen wir auch bei unpassender Accommodation noch ihrer Form nach. In dem Netzhautbilde eines todten Auges erscheinen aber überhaupt nur noch gröfsere Objecte, die feineren sind verwischt, wie man sogleich erkennt, wenn man es künstlich vergröfsert, so dafs die Bilder dem

Beobachter in ähnlicher Gröfse erscheinen, wie sie dem beobachteten Auge, als es lebte, erschienen waren.

Eine noch nähere Erläuterung der Accommodationserscheinungen und der verschiedenen Lage des Vereinigungspunktes der Strahlen zur Netzhaut giebt der SCHEINER'sche Versuch. Man steche durch ein Kartenblatt mit
94 einer Nadel zwei Löcher, deren Entfernung kleiner ist als der Durchmesser der Pupille, und blicke nun durch die beiden Löcher nach einem feinen Gegenstande hin, der sich dunkel auf hellem Grunde oder hell auf dunklem Grunde scharf abzeichnet, z. B. nach einer Nadel, die man vor den hellen Hintergrund des Fensters hält, und zwar vertical, wenn die Löcher des Kartenblatts horizontal neben einander liegen, dagegen horizontal, wenn letztere vertical übereinander stehen. Fixirt man nun die Nadel selbst, so sieht man sie einfach; fixirt man dagegen einen näheren oder ferneren Gegenstand, so erscheint sie doppelt. Schiebt man dann von der Seite her einen Finger über das Kartenblatt, so dafs er eines der Löcher verdeckt, so findet man in dem Falle, wo das Bild der Nadel einfach ist, keine andere Veränderung, als dafs das Gesichtsfeld dunkler wird. Sieht man dagegen die Nadel doppelt, so verschwindet beim Verdecken der Oeffnung eines der Doppelbilder, während das andere unverändert stehen bleibt, und zwar verschwindet, wenn man einen ferneren Gegenstand, als die Nadel ist, fixirt, das linke Bild der Nadel beim Verdecken des rechten Loches; wenn man aber das Auge für einen näheren Gegenstand eingerichtet hat, verschwindet das rechte Bild beim Verdecken des rechten Loches. Hat man sich noch nicht genügend geübt, das Auge für die Nähe und Ferne zu accommodiren, ohne dafs man einen entsprechenden Fixationspunkt hat, so stelle man zwei Nadeln hinter einander vor einem hellen Hintergrunde auf, die eine in 6 Zoll, die andere in 2 Fufs Entfernung, die eine horizontal, die andere vertical, und fixire die eine, um die Doppelbilder der anderen zu sehen, wobei man natürlich die Löcher des Kartenblatts stets quer gegen die Richtung der Nadel stellen mufs, welche doppelt erscheinen soll.

Macht man drei Löcher in ein Kartenblatt, welche nahe genug zusammenstehen, um gleichzeitig vor die Pupille gebracht zu werden, so erscheinen drei Bilder der Nadel. Haben die Löcher die Stellung wie in *Fig. 61 a*, so erscheinen bei der Accommodation für einen näheren Gegenstand drei Nadeln in der Stellung wie bei *b*, so dafs ihre Köpfe die Stellung der Löcher in gleichem Sinne wiedergeben. Bei der Accommodation für einen ferneren Gegenstand erscheinen die Nadeln in der Stellung *c*, so dafs ihre Köpfe ein umgekehrtes Bild von der Stellung der Löcher geben. Ganz dieselben vielfachen Bilder zeigen sich, wenn man einen hellen Gegenstand auf dunklem Grunde, eine Oeffnung eines dunklen Schirms, durch welche Licht fällt, oder ein Nadelköpfchen, welches Sonnenlicht reflectirt, betrachtet.



Fig. 61.

Die Erklärung dieser Versuche ergiebt sich leicht aus entsprechenden Versuchen mit Glaslinsen. Es sei *Fig. 62* b eine Sammellinse, vor welcher ein undurchsichtiger Schirm mit zwei Oeffnungen e und f angebracht ist; a sei ein leuchtender Punkt und c der Vereinigungspunkt für seine Strahlen, nachdem sie durch die Linse gegangen sind. Es werden demgemäfs alle Strahlen der beiden Strahlenbündel, welche durch die beiden Oeffnungen des Schirms e und f gehen, sich im Punkte c schneiden, und ein weifser Schirm, welcher in c angebracht ist, wird nur eine helle Stelle als Bild des Lichts zeigen. Ein Schirm aber, der vor dem Vereinigungspunkte in $m\,m$, oder 95
hinter ihm in $l\,l$ angebracht ist, wird die den beiden Oeffnungen entsprechenden Strahlenbündel gesondert auffangen und zwei helle Stellen

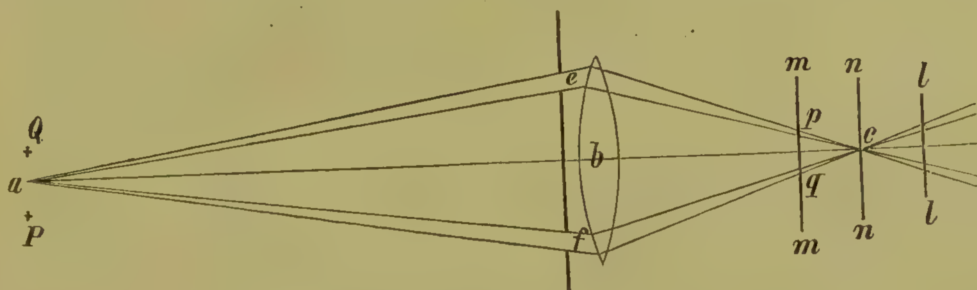


Fig. 62.

zeigen. Denkt man sich statt der Glaslinse die brechenden Mittel des Auges, statt des Schirms die Retina gesetzt: so ergiebt sich analog, dafs ein Punkt der Retina vom Lichte getroffen wird, wenn ihre Fläche durch den Vereinigungspunkt der Strahlen geht, zwei Punkte dagegen, wenn sie sich vor oder hinter dem Vereinigungspunkte der Strahlen befindet. Die Stellung des Schirms in m entspricht dem Falle, wo das Auge für einen ferneren, die bei l, wo es für einen näheren Gegenstand accommodirt ist. Nur ein scheinbarer Widerspruch zeigt sich. Wenn man nämlich in dem Versuche mit der Glaslinse die obere Oeffnung e des durchbrochenen Schirms verdeckt, verschwindet bei der Stellung des Schirms in m das gleichseitige obere Bild, bei dem fernsehenden Auge aber das entgegengesetzte. Bei der Stellung des Schirms in l verschwindet umgekehrt bei der Glaslinse das entgegengesetzte, in dem nahsehenden Auge dagegen das gleichseitige Bild. Der Widerspruch erklärt sich dadurch, dafs die Bilder auf der Netzhaut stets umgekehrt sind, also einem tiefer liegenden lichten Gegenstande ein höher stehendes Bild auf der Netzhaut entspricht. Wird also die in m stehende Netzhaut bei p und q von Licht getroffen, so schliefst der Sehende von dem oberen Punkte p auf einen im Gesichtsfelde unterhalb des wirklichen leuchtenden Punktes bei P liegenden Gegenstand, und aus dem unteren Punkte q auf einen oberhalb bei Q liegenden. Wird die Oeffnung e verdeckt, so verschwindet demnach der obere helle Punkt p auf der Netzhaut, und der Experimentirende glaubt deshalb den Gegenstand P verschwinden zu sehen, welcher der verdeckten Oeffnung entgegengesetzt ist.

Umgekehrt ist es beim Fixiren eines nahen Gegenstandes, wo die Netzhaut dem Schirme in *l* entspricht.

Bringt man vor der Glaslinse einen Schirm mit drei Oeffnungen, wie in *a Fig. 61*, an, so entstehen auch drei lichte Punkte auf dem in *m* oder *l* gestellten Schirme, und zwar in *m* gleich, in *l* dagegen entgegengesetzt gerichtet als auf dem vorderen Schirme; also wieder umgekehrt, als es scheinbar im Auge der Fall ist, was sich in derselben Weise erklärt, wie eben auseinandergesetzt ist.

Bringt man vor die Glaslinse einen Schirm mit einer Oeffnung, und bewegt ihn hin und her, so bleibt das Bild des lichten Punktes unbeweglich, wenn (siehe in *Fig. 62*) der Vereinigungspunkt *c* der Lichtstrahlen in den auffangenden Schirm fällt. Steht dieser Schirm aber vor *c* in *m*, so bewegt sich das Bild in demselben Sinne wie die Oeffnung vor dem Glase. Steht der auffangende Schirm in *l* hinter dem optischen Bilde, so bewegt es sich
96 in entgegengesetzter Richtung. Entsprechendes findet beim Auge statt. Sieht man durch eine kleine Oeffnung eines Kartenblatts nach einer Nadel, fixirt einen fernen Gegenstand und bewegt das Kartenblatt, so bewegt sich die Nadel scheinbar in entgegengesetztem Sinne. Fixirt man dagegen einen näheren Punkt, so bewegt sie sich in gleichem Sinne wie das Kartenblatt. Die Erklärung dieser Versuche ergiebt sich leicht aus dem Vorausgeschickten, wenn man für *Fig. 62* annimmt, dafs der Schirm nicht zwei Oeffnungen, sondern nur eine hat, die sich bald in *e*, bald in *f* befindet.

Man kann einen Schirm mit enger Oeffnung, welche man vor das Auge bringt, auch benutzen, um Gegenstände deutlich zu sehen, für welche man das Auge nicht accommodiren kann. Die Grundfläche des in das Auge eindringenden Strahlenkegels wird dadurch kleiner, und in demselben Verhältnisse auch alle seine Querschnitte, zu denen auch der Zerstreuungskreis auf der Netzhaut gehört.

Wenn man einen nahe vor dem Auge befindlichen Gegenstand, der deshalb im Zerstreuungsbilde erscheint, durch eine feine Oeffnung betrachtet, erscheint er aus dem angeführten Grunde deutlich und aufserdem vergröfsert. Ja, er erscheint sogar gröfser, als wenn man ihn ohne Oeffnung bei derselben Entfernung im Zerstreuungsbilde betrachtet. Seine Vergröfserung wird um so bedeutender, je mehr man die Oeffnung vom Auge entfernt. Diese Erscheinungen erklären sich auf folgende Weise. Es seien in *Fig. 63* *a* und *b* zwei leuchtende Punkte des Objects, *S* der Schirm, *A* das Auge. Vom Punkte *a* fällt durch die Oeffnung des Schirms nur der Lichtstrahl am_1 in das Auge, von *b* der Lichtstrahl bm_2. Ist $\beta\alpha$ das dem Objecte *ab* entsprechende Bild, welches die Augenmedien entwerfen, so geht der Strahl am_1 nach der Brechung nach α und schneidet die Netzhaut in *f*; der Strahl bm_2 geht dagegen nach β und trifft die Netzhaut in *g*. Zieht man von *f* und *g* aus die Linien $f\varphi$ und $g\gamma$ durch den Knotenpunkt des Auges *k*, so geben diese die Richtungen an, in welchen leuchtende Punkte beim gewöhnlichen deutlichen Sehen liegen müfsten, um sich in *f* und *g* abzubilden. In diese Linien verlegt unser Urtheil deshalb auch die Punkte *a* und *b*.

Wenn der Schirm sich vom Auge entfernt und dem Objecte nähert, ist leicht ersichtlich, dafs die Punkte m_1 und m_2 und ebenso die Linien $m_1\ \alpha$ und $m_2\ \beta$ mit den Punkten f und g sich von der Augenaxe entfernen müssen. Das Netzhautbild wird in diesem Falle also gröfser.

Nehmen wir den Schirm weg, so entwirft jeder lichte Punkt des Objects einen Zerstreuungskreis. Die Mittelpunkte der Zerstreuungsbilder von a und b sind dann auf der Netzhaut weniger von einander entfernt als die Punkte f und g, wo diese Punkte bei vorgehaltenem Schirme sich abbilden. Der Mittelpunkt der Zerstreuungskreise wird bestimmt durch den 97
Axenstrahl des Strahlenkegels, d. h. durch den Strahl, welcher durch den Mittelpunkt der Pupille gegangen ist. Es sei l dieser Punkt. Der von a durch l nach α gehende Strahl trifft dann die Netzhaut in i, der von b durch l nach β gehende in h. Die Punkte h und i sind also die Mittelpunkte der Zerstreuungsbilder, wenn der Schirm entfernt wird. Sie liegen einander näher als die Punkte f und g.

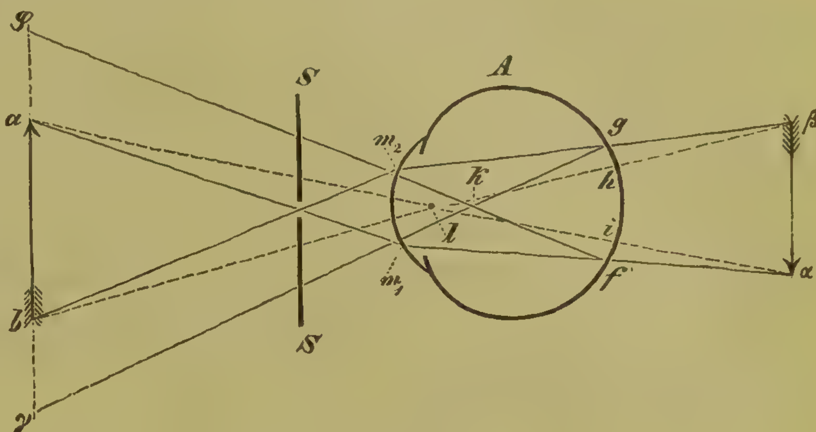


Fig. 63.

Sieht man dagegen durch eine enge Oeffnung nach entfernten Gegenständen, während man das Auge für die Nähe accommodirt, so erscheinen die Gegenstände kleiner, und desto kleiner, je weiter man die Oeffnung vom Auge entfernt.

Die Entfernungen, für welche sich das menschliche Auge accommodiren kann, sind bei verschiedenen Individuen sehr verschieden. Man nennt den dem Auge nächsten Punkt, für den eine vollständige Accommodation ausgeführt werden kann, den Nähepunkt, den entferntesten den Fernpunkt der Accommodation.

Die Lehre von den individuellen Verschiedenheiten des Refractions- 825
zustands der Augen ist namentlich durch die wichtigen Arbeiten von DONDERS[1] vollständig aufgehellt worden und hat denn auch schon die fruchtbarste Anwendung in der Augenheilkunde gefunden, nicht blos direct für die Verbesserung mangelhaften Accommodationsvermögens durch Brillen, sondern auch indirect, indem eine Reihe bisher dunkler Krankheitszustände sich als Folge mangelhafter Refraction und Accommodation des Auges ergaben.

Der Fortschritt, den DONDERS gemacht hat, hängt namentlich davon ab, dass er getrennt hat die Erscheinungen, welche einem abnormen Refractionsgrade im Ruhezustande des Auges angehören bei der Accommodation für

[1] F. C. DONDERS, *Anomalies of accommodation and refraction.* London 1864.

die Ferne, von denen, welche sich auf die grössere oder geringere Breite der Accommodation beziehen und die also in einer Aenderung des Refractionszustandes durch Muskelthätigkeit bestehen.

Für die Ansicht, dass der Zustand des Fernsehens der Ruhezustand des Auges sei, für welche schon die subjective Empfindung sehr entschieden spricht und die auch meiner oben gegebenen Darstellung zu Grunde liegt, führt DONDERS noch weiter an, dass durch gewisse narkotische Stoffe (namentlich Atropin, das Alkaloid der Belladonna) eine Lähmung des Ringmuskels der Pupille und der Accommodation hervorgebracht wird, wobei das Auge für seinen Fernpunkt eingerichtet ist, ohne diesen Refractionszustand ändern zu können. Sollte ein muskulöser Apparat da sein, dessen Contraction die Accommodation für die Ferne verstärken könnte, so müsste man die sehr unwahrscheinliche Annahme machen, dass dieser durch das Atropin nicht gelähmt, sondern in eine dauernde krampfhafte Zusammenziehung gebracht würde.

Daneben lehren pathologische Beobachtungen, dass wenn durch Lähmung des *Nervus oculomotorius* der Accommodationsapparat gelähmt wird, das Auge sich stets auf seinen früheren Fernpunkt dauernd einstellt. Dagegen sind durchaus keine Fälle von Bewegungslähmungen des Auges beobachtet worden, wobei der Fernpunkt sich genähert hätte.

826 Die gröfste Sehweite entspricht also dem Ruhezustande des Auges. Als normale Lage des Fernpunktes kann die in unendlicher Ferne betrachtet werden. Solche Augen nennt DONDERS emmetropisch (von ἔμμετρος, *modum tenens*, und ὤψ, *oculus*), um die Vieldeutigkeit des Ausdrucks „normale“ oder „normalsichtige“ Augen zu vermeiden. Emmetropische Augen können natürlich noch an mancherlei anderen Fehlern leiden und brauchen nicht „normal“ zu sein.

Augen, deren Fernpunkt vor ihnen, aber nicht in unendlicher Ferne liegt, nennt er brachymetropisch oder, mit dem älteren Namen, myopisch; diese Augen können nur divergirend einfallende Strahlenbündel auf der Netzhaut vereinigen.

Augen, die im Gegentheil nicht nur parallele, sondern auch convergirend einfallende Strahlen vereinigen können, heissen hypermetropisch.

Die myopischen Augen können sich ohne Hilfe eines Brillenglases für weit entfernte Objecte nicht einstellen; es mangelt ihnen also ein wichtiger Theil der Fähigkeit eines emmetropischen Auges. Die hypermetropischen dagegen sind genöthigt jedes Mal, wo sie ein reelles Object fixiren wollen, eine Accommodationsanstrengung zu machen, wodurch mannigfache und häufig sehr störende Ermüdungserscheinungen herbeigeführt werden. Beiderlei Arten der Abweichung sind also für den praktischen Gebrauch des Auges nachtheilig und werden deshalb von DONDERS unter dem Namen der ametropischen Augen zusammengefafst.

Der Grund dieser Abweichungen beruht der Regel nach auf der verschiedenen Länge der Augenaxe, die in den hypermetropischen kürzer ist

als in den emmetropischen. Damit hängt auch die Lage des Drehpunkts dieser Augen zusammen, der in den myopischen Augen weiter nach hinten, in den hypermetropischen weiter nach vorn liegt. Die Hornhaut und Linse zeigen in der Regel keine Krümmungsänderungen, aus denen die Ametropie erklärt werden könnte.

Um den Zustand solcher abweichender Augen vollständig zu bestimmen, mufs ferner die Gröfse der Veränderung bestimmt werden, welche durch active Muskelanstrengung in ihrem Brechungszustande hervorgebracht werden kann. Wenn wir ein emmetropisches Auge, welches zwischen unendlicher Ferne und einer Sehweite von 6 Zoll sich für jedes Object einstellen kann, und ein stark myopisches, welches zwischen 6 und 3 Zoll Entfernung accommodiren kann, mit einander vergleichen, so scheint auf den ersten Anblick vielleicht das letztere eine viel engere Grenze der Accommodationsfähigkeit zu haben, als das letztere. Wenn wir aber dicht vor ein solches myopisches Auge eine Concavlinse von 6 Zoll Brennweite setzen, welche ihm erlaubt unendlich entfernte Gegenstände deutlich zu sehen, so werden wir finden, dafs dasselbe Auge mit Hilfe dieser Brille nun auch, wie das zuerst genannte emmetropische Auge zwischen unendlicher Ferne und 6 Zoll Abstand accommodiren kann, also eine ebenso grofse Breite der Accommodation hat, wie das erstere. Die genannte Linse mit 6 Zoll negativer Brennweite entwirft nämlich von Objecten, die 6 Zoll hinter ihr liegen, ein virtuelles Bild in 3 Zoll Entfernung, für welches sich also das supponirte myopische Auge accommodiren kann.

Wir können also die Accommodationsbreite zweier verschieden fern- 827
sichtiger Augen nicht unmittelbar nach dem Abstand ihres Fernpunkts vom Nahpunkte mit einander vergleichen, sondern wir müssen sie durch eine vorgesetzte Linse erst auf gleichen Refractionszustand gebracht denken, um sie vergleichen zu können.

Soll eine solche Linse die Objecte nicht vergröfsern oder verkleinern, so mufs ihr zweiter Knotenpunkt mit dem ersten des Auges zusammenfallen (was sich praktisch, wenn es der Mühe werth erscheinen sollte, bei dicken convexconcaven Linsen erreichen lassen würde; vergleiche Seite 83 und 84). Nennen wir die Entfernung des Fernpunktes eines gegebenen Auges vom ersten Knotenpunkte F, die des Nahepunktes N, und A die Entfernung des nächsten Punktes, für den das mit einer Linse von der negativen Brennweite F versehene Auge sich noch accommodiren kann, so ist

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{N} - \frac{1}{F}$$

und die Gröfse $\frac{1}{A}$ wird von Donders als Maafs der Accommodationsbreite benutzt.

Die Einheit dieses Accommodationsmaafses ist also Eins dividirt durch das Längenmaafs, wozu bisher, den Brillennummern entsprechend, Pariser Zolle gewählt sind.

n Zweckmäfsiger erscheint das von Herrn Nagel vorgeschlagene System, als Einheit für die brechenden Wirkungen der Linsen und deren Unterschiede eine Linse von einem Meter Brennweite zu brauchen (Meterlinse). Man kann dann stärker brechende Systeme herstellen, indem man mehrere Meterlinsen an einander legt, und von andern Linsen also sagen, dafs sie eine gewisse Anzahl zusammengelegter Meterlinsen ersetzen. Die brechende Kraft einer Meterlinse nennen die neueren französischen Augenärzte eine Dioptrie. Sagt man also eine Linse habe n Dioptrien, so heifst das, ihre Brennweite sei $\frac{1}{n}$ Meter.

In diesem Sinne läfst sich auch der Grad der Myopie oder Hypermetropie in Dioptrien ausdrücken, indem man angiebt, wie viel derselben die Linse haben müfste, welche das entspannte Auge auf unendlich einstellt.

Endlich die Angabe, dafs die Accommodation 6 Dioptrien entspreche, bedeutet, dafs sie die Sehweite in einem emmetropischen Auge von ∞ bis auf $\frac{1}{6}$ Meter verringert. Dieselbe Accommodationsbreite aber hätte auch ein myopisches Auge, das von $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{6}$ Meter accommodiren kann, oder ein hypermetropisches, das von $+\frac{1}{3}$ bis $-\frac{1}{3}$ Meter reicht.

827 Die Gröfse der Accommodation $\frac{1}{A}$ nimmt mit zunehmendem Lebensalter continuirlich ab, und zwar bei ganz oder nahehin emmetropischen Augen annähernd proportional den Jahren, so dafs sie im zehnten Jahre im Mittel $13^1/_2$ Dioptrien beträgt, im 65. Jahre Null wird. Verlust der Accommodationsfähigkeit findet also im höheren Lebensalter regelmäfsig statt, und auf diesen Zustand hat Donders den Namen Presbyopie beschränkt. Dabei ist aber noch zu bemerken, dafs im höheren Alter, etwa vom 50. Jahre ab, auch der Fernpunkt des Auges etwas hinausrückt, früher emmetropische Augen also hypermetropisch, schwach myopische emmetropisch werden.

Die allmälige Verminderung der Accommodationsbreite hängt wahrscheinlich davon ab, dafs die Festigkeit der äufseren Schichten der Krystallinse wächst und die Linse deshalb weniger nachgiebig wird. Vermehrung des Brechungscoefficienten ihrer äufseren Schichten mufs nach Seite 94 auch eine Verminderung der Brechung in der Linse zur Folge haben und also den hintern Brennpunkt des Auges nach hinten rücken lassen.

828 Zu erwähnen ist noch, dafs wir der Regel nach immer Convergenz- und Accommodationsanstrengung gleichzeitig vollführen und daher auch unwillkührlich eine bestimmte Verbindung zwischen beiden Anstrengungen einhalten. Jemand, der seine Accommodation nicht willkührlich beherrschen gelernt hat, accommodirt deshalb besser für die Ferne bei parallelen

Gesichtslinien und erreicht die stärkste Anstrengung der Accommodation besser bei stark convergenten Gesichtslinien.

DONDERS unterscheidet daher 1. die absolute Accommodationsbreite, wo der Fernpunkt genommen wird bei parallelen (oder selbst divergenten) Blicklinien, der Nähepunkt bei möglichst stark convergenten. Der Nähepunkt der Accommodation liegt hierbei ferner als der Convergenzpunkt. Es ist dies die gröfste erreichbare Accommodationsbreite, sie betrug bei einem emmetropischen Beobachter im Alter von 15 Jahren $\frac{1}{3,69}$ (nach Pariser Zollen) oder 10 Dioptrien.

2. Die binoculare Accommodationsbreite. Die Convergenz wird hierbei nicht stärker gemacht, als zur Fixirung des Punktes, für den man accommodirt, nöthig ist. Man erreicht hierbei nicht ganz denselben Grad der Accommodation, wie im ersten Falle. Die Breite der binocularen Accommodation desselben Beobachters war $\frac{1}{3,9}$ (9,5 Dioptrien).

3. Die relative Accommodationsbreite für einen gegebenen Grad der Convergenz. Diese war für denselben Beobachter bei parallelen Gesichtslinien nur gleich $\frac{1}{11}$ (3,7 D.), erreichte bei einer Convergenz von 11^0 ihr Maximum von $\frac{1}{5,76}$ (6,4 D.), blieb dann bei steigender Convergenz ziemlich unverändert, so dafs sie bei 23^0 noch $\frac{1}{6,4}$ (5,8 D.) betrug, und bei der Stellung des binocularen Nähepunkts, bei 38^0 Convergenz, $\frac{1}{9}$ (4,1 D.). In der Stellung des absoluten Nähepunkts, bei 73^0 Convergenz, war sie Null.

Für ärztliche Zwecke müssen also bestimmte Grade der Convergenz gewählt werden, um vergleichbare Grade der Accommodation zu erhalten, und man mufs mit passend gewählten Linsen, die man vor das Auge setzt, dem Patienten die Accommodation bei einem solchen Convergenzgrade möglich zu machen suchen.

Für die Bestimmung des Fernpunkts empfiehlt sich die parallele Richtung der Gesichtslinien auf ein entferntes Object; die Brennweite der schwächsten concaven Linsen, welche einem myopischen, oder der stärksten convexen Linsen, welche einem hypermetropischen Auge noch vollkommen genaues Sehen sehr entfernter kleiner Objecte gestatten, ist unmittelbar gleich der Entfernung des Fernpunktes vom Auge. Für die Bestimmung des Nähepunktes schreibt DONDERS vor, ihn durch passende Convexgläser stets bis auf etwa 8 Zoll heranzubringen, wenn er weiter abliegen sollte, um einer genügenden Accommodationsanstrengung sicher zu sein. Dabei mufs dann natürlich der Einflufs der Linse auf die Lage des gesehenen Bildes in Rechnung gebracht werden.

829 Als Probeobjecte zur Prüfung der Sehweite ungeübter Beobachter dienen Buchstaben, Ziffern und Punktsysteme verschiedener Gröfse[1] und eine Sammlung abgestufter und leicht zu wechselnder Brillengläser.

Im Ganzen ist es rathsam bei Augen, deren Sehweite für die gewählte Beschäftigung nicht genügt, rechtzeitige Unterstützung durch passende Brillen anzuwenden. Presbyopische Augen brauchen eine Convexbrille beim Lesen und Schreiben, überhaupt bei der Beschäftigung mit nahen Objecten, um die Zerstreuungskreise zu vermindern. Bei schwacher Beleuchtung, wenn die Pupille weit ist und defshalb die Zerstreuungskreise gröfser, ist eine stärkere Brille nothwendig als bei stärkerer Beleuchtung. In der Regel genügt eine Brille, welche den Nähepunkt auf 10 bis 12 Zoll heranbringt; nur bei sehr alten Leuten, zwischen 70 und 80 Jahren, wo die Gesichtsschärfe sich beträchtlich vermindert, ist es wünschenswerth, die Objecte bis auf 8 oder 7 Zoll heranbringen zu können, um sie unter gröfserem Gesichtswinkel zu sehen.

Bei myopischen Augen ist namentlich darauf zu sehen, dafs bei der Beschäftigung mit nahen Gegenständen gebückte Haltung des Kopfes und starke Convergenz der Augen vermieden wird, weil die Verdünnung, Ausbauchung und Zerrung der Membranen im hinteren Theile des Auges durch gesteigerten Blut- und Muskeldruck schnell wächst und die höheren Grade der Myopie das Sehvermögen sehr erheblich beeinträchtigen und gefährden. Bei den schwächeren Graden von Kurzsichtigkeit, wobei der Fernpunkt über 5 Zoll vom Auge liegt, ist es im Allgemeinen zulässig, concave Brillengläser, welche den Fernpunkt in unendliche Ferne rücken, anzuwenden und fortdauernd zu tragen. Das myopische Auge wird dadurch einem emmetropischen ähnlich gemacht. Dabei ist aber sehr sorgfältig darauf zu achten, dafs Bücher, Papierblätter, auf denen geschrieben wird, und Handarbeiten nicht näher als 12 Zoll den Augen genähert werden. Bei übrigens guter Beschaffenheit des Auges ist in dieser Entfernung ohne Schwierigkeit möglich zu lesen und zu schreiben. Zwingen die Umstände gebieterisch zu feinerer Arbeit, die den Augen näher gebracht werden mufs, so ist hierfür der Gebrauch schwächerer Concavgläser und vielleicht achromatisirter prismatischer Gläser, die auf der Nasenseite dicker als auf der Schläfenseite sind, rathsam, weil dann die sehr genäherten Objecte mit geringerer Convergenz und geringerer Anstrengung der Accommodation gesehen werden können.

Gläser, welche die Myopie vollkommen neutralisiren, können zuweilen bei solchen Kurzsichtigen, die noch nie Brillen getragen haben, erst nach einiger Gewöhnung an schwächere Gläser, statt deren man nach und nach schärfere substituirt, angewendet werden, weil die Verbindung zwischen

---

[1] Dergleichen sind herausgegeben von JAEGER jun., *Schriftscalen*, Wien 1857; und SNELLEN, *Test types for the determination of the acuteness of vision*; London, Williams and Norgate; Paris, Germer Baillière; Berlin, Peters; Utrecht, Greven. Die letztern sind in regelmäfsiger Abstufung der Gröfse ausgeführt und mit Nummern versehen, welche die Zahl der Pariser Fufse angeben, um welche entfernt ein normales Auge die Buchstaben noch lesen kann. Aehnliche auch von GIRAUD TEULON. Paris, Nachet. Ferner M. BURCHARDT, *Internationale Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe und Sehweite*. Cassel, A. Freyschmidt.

ccommodation und Convergenz den neuen Umständen allmälig angepafst erden mufs. Bei geringerer Accommodationsbreite oder merklich vermin- erter Gesichtsschärfe ist es überhaupt rathsamer, für nahe Objecte schwächere rillen zu tragen, die für die gewöhnlichen Beschäftigungen genügen, und ir ferne Objecte eine Lorgnette zu Hilfe zu nehmen.

Bei höheren Graden von Myopie ist das Auge überhaupt schon leidend 830
ad gefährdet; es sind dann mancherlei andere Rücksichten noch zu nehmen, e hier nicht weiter erörtert werden können, und der Rath eines intelligenten rztes jedenfalls nothwendig. Überhaupt ist die Gleichgültigkeit, womit die eisten Kurzsichtigen den Zustand ihrer Augen betrachten, die Ursache späterer ntwickelung gefährlicher Augenkrankheiten und vieler Erblindungen, und s kann nicht genug vor Nachlässigkeit in dieser Hinsicht gewarnt werden.

Hypermetropische Augen brauchen convexe Linsen, und zwar wähle an im Anfang, wo sie ihre fortdauernde Accommodationsanstrengung noch icht ganz zu beseitigen wissen, etwas zu starke Gläser, durch die sie schon rne Objecte nicht mehr ganz deutlich sehen können. Je mehr sie sich er übermäfsigen Accommodation entwöhnen, desto schwächere Gläser werden usreichen. Bei verminderter Accommodationsbreite brauchen sie stärkere Con- exgläser für die Nähe, schwächere für die Ferne. Die sehr bedeutenden eschwerden der fortdauernden Accommodationsanstrengung werden durch assende Gläser ganz beseitigt, und es ist einer der bedeutendsten praktischen riumphe der neueren Ophthalmologie, dafs die äufserst hartnäckige Asthenopie, ie auf Hypermetropie beruht und die die Verzweiflung der Patienten und rzte war, nachdem ihr Grund erkannt worden ist, durch ein so einfaches littel so leicht beseitigt werden kann.

Wenn man das Auge in Wasser taucht, fällt die Brechung der Licht- 98
rahlen an der Hornhaut fast ganz fort, und es bleibt nur die in der rystallinse wirksam, welche nicht hinreicht, um deutliche Bilder auf der Tetzhaut zu entwerfen. Das Auge verhält sich dann wie ein überweitsich- ges, und braucht eine stark convexe Linse als Brille, um irgend etwas zu rkennen.

Um die Gröfse der Zerstreuungskreise berechnen zu können, bemerke ian zunächst, dafs alle Strahlen, die aufserhalb des Auges auf die scheinbare l. h. durch die Hornhaut gesehene) Pupille hinzielen, nach der Brechung in der Iornhaut die wirkliche Pupille treffen, und dafs sie im Glaskörper so verlaufen, ls kämen sie von dem Bilde der Pupille her, welches die Linse nach hinten zu itwirft. Es ergiebt sich dies sogleich aus dem Begriffe des optischen Bildes. in gewisser Punkt der wirklichen Pupille und der correspondirende Punkt ihres Iornhautbildes sind in Rücksicht auf die Brechung an der Hornhaut correspondirende ereinigungspunkte der Lichtstrahlen. Strahlen, die von dem Punkte der wirklichen 'upille aus nach vorn gehen, scheinen vor dem Auge von dem Bilde dieses Punktes u kommen, und umgekehrt, Strahlen, welche in der Luft nach einem Punkte der cheinbaren Pupille convergiren, müssen sich nach der Brechung an der Hornhaut 1 dem entsprechenden Punkte der wirklichen Pupille vereinigen.

Listing nimmt für sein schematisches Auge an, daſs die Iris $\frac{1}{2}$ mm vor der vorderen Linsenfläche liege, und berechnet, daſs alsdann ihr von der Linse entworfenes Bild um $\frac{1}{15}$ vergröſsert und um 0,055 mm nach hinten gerückt sei. Verlegt man dagegen die Pupille dicht an die Vorderfläche der Linse, was naturgemäſser ist, so beträgt die Vergröſserung nur etwa $\frac{1}{18}$ (genauer $\frac{3}{53}$), und sie wird um 0,113 mm nach hinten gerückt. Behält man die übrigen Data von Listing's schematischem Auge bei, so würde der Abstand des Linsenbildes der Pupille von der Netzhaut gleich 18,534 mm zu setzen sein. Durch die Hornhaut würde dieselbe Pupille dagegen um $\frac{1}{7}$ (genauer $\frac{13}{90}$) vergröſsert und um 0,578 mm vorgerückt erscheinen.

Die Gröſse der Zerstreuungskreise auf dem mittleren Theile der Netzhaut läſst sich auf folgende Weise berechnen. Es sei in *Fig. 64* $g\,f$ die Augenaxe, $q\,g$ ein vor

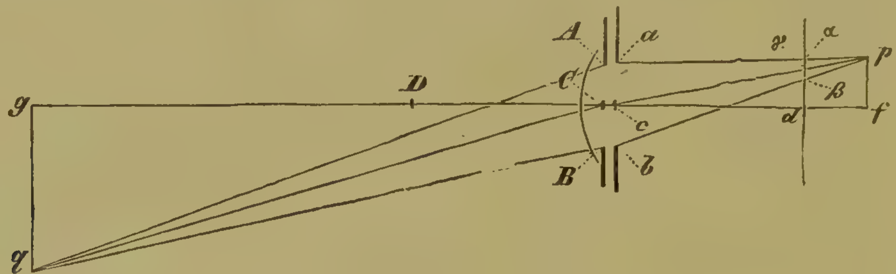


Fig. 64.

dem Auge liegendes Object, und die Linie $q\,g$ senkrecht gegen $f\,g$. Es sei ferner p das Bild von q, und f von g; $\alpha\,d$ die Netzhaut, welche wir als eine auf die Augenaxe senkrechte Ebene betrachten, da nur Bilder auf der Mitte der Netzhaut in Betracht gezogen werden sollen; $a\,b$ sei das Linsenbild der Pupille, $A\,B$ das Hornhautbild, beide senkrecht gegen die Augenaxe, die von ihren Ebenen in den Punkten c und C geschnitten wird. Die von dem Rande der Pupille ausgehenden Strahlen $a\,p$ und $b\,p$ schneiden die Netzhaut in α und β, so daſs $\alpha\,\beta$ ein Durchmesser des Zerstreuungskreises ist, dessen Gröſse berechnet werden soll. Da $a\,b$ parallel $\alpha\,d$ ist, ist nach bekannten geometrischen Sätzen:

99 $$a\,p : \alpha\,p = a\,b : \alpha\,\beta$$

$$a\,p : \alpha\,p = c\,f : d\,f, \text{ also auch}$$

$$\alpha\,\beta = \frac{a\,b\,.\,d\,f}{c\,f} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1\text{ a}).$$

Fällt die Ebene der Netzhaut mit der hinteren Brennebene des Auges zusammen, und ist D der vordere Brennpunkt des Auges, so können wir wie in § 9 Gleichung 8) bezeichnen $C\,D$ mit H_1, $c\,d$ mit H_2, $C\,g$ mit h_1, $c\,f$ mit h_2 (statt h_{m+1}) und haben dann wie dort

$$\frac{H_1}{h_1} + \frac{H_2}{h_2} = 1 \text{ oder}$$

$$\frac{H_1}{h_2} = \frac{h_2 - H_2}{h_2} = \frac{d\,f}{c\,f}, \text{ also}$$

$$\alpha\,\beta = a\,b\,.\,\frac{H_1}{h_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1\text{ b}).$$

Wenn c der Mittelpunkt des Linsenbildes der Pupille ist, also $a\,c = b\,c$, und

er Strahl $c p$ die Netzhaut in γ schneidet, so ist γ der Mittelpunkt des Zerreuungskreises. Denn wegen des Parallelismus von $a b$ und $\alpha \beta$ verhält sich

$$a c : b c = \alpha \gamma : \beta \gamma$$
$$a c = b c, \text{ folglich}$$
$$\alpha \gamma = \beta \gamma.$$

er Strahl also, welcher die Mitte des Zerstreuungskreises trifft, geht im Glaskörper erlängert durch den Mittelpunkt des Linsenbildes der Pupille. Wir können hinısetzen, er geht in der vorderen Kammer in der That durch den Mittelpunkt der irklichen Pupille und in der Luft verlängert durch den Mittelpunkt des Hornhautildes der Pupille.

Daraus folgt, dafs, wenn die Mittelpunkte der Zerstreuungskreise für zwei uneich vom Auge entfernte Punkte auf einander fallen, der nach diesem gemeinımen Mittelpunkte von dem Mittelpunkte des Linsenbildes der Pupille gehende trahl beiden Strahlensystemen gemeinsam sein mufs. Die Fortsetzung dieses geeinsamen Strahls vor dem Auge mufs also auch beide leuchtende Punkte treffen, ıd wird verlängert durch den Mittelpunkt des Hornhautbildes der Pupille gehen. asselbe wird der Fall sein, wenn das eine Zerstreuungsbild sich auf einen Punkt ducirt, der im Mittelpunkte des anderen Zerstreuungskreises liegt.

Beim Visiren decken sich zwei ungleich entfernte Punkte, wenn das Bild des nen in die Mitte des Zerstreuungsbildes des anderen fällt, oder die Mittelpunkte eider Zerstreuungsbilder auf einander fallen, falls beide undeutlich gesehen werden. ie sie verbindende gerade Linie nenne ich Visirlinie. Sie mufs nach der eben emachten Auseinandersetzung mit dem Strahle zusammenfallen, der nach dem Mittelınkte des Hornhautbildes der Pupille geht, und dieser letztere Punkt wird desılb der Kreuzungspunkt aller Visirlinien sein.

Der Begriff des Gesichtswinkels hängt hiermit nahe zusammen. Wenn an sagt, dafs Objecte, die unter gleichem Gesichtswinkel erscheinen, gleiche heinbare Gröfse haben, so mufs man den Scheitel des Gesichtswinkels in den reuzungspunkt der Visirlinien legen. Gewöhnlich hat man ihn aber in den reuzungspunkt der Richtungslinien (den ersten Knotenpunkt) verlegt, und wenn es ch um Fälle handelt, wo die beiden gesehenen Punkte nach einander direct esehen werden, würde man ihn in den Drehpunkt des Augapfels legen müssen. ür sehr weit entfernte Punkte wird die Gröfse des Gesichtswinkels dadurch nicht 100
rändert, für nahe aber allerdings.

Ich füge hier noch eine kleine Tafel bei, welche Listing für sein schematihes Auge unter der Annahme berechnet hat, dafs die Netzhaut in der zweiten rennebene des Auges liege, und die Pupille 4 mm Durchmesser habe. Es sind ırin angegeben unter l_1 die Entfernungen des leuchtenden Punktes von dem orderen Brennpunkte nach vorn, unter l_2 die des Bildes von der Netzhaut nach nten, unter z der Durchmesser des Zerstreuungskreises. Die Rechnung ist ausführt nach § 9 Gleichung 8 c)

$$l_1 . l_2 = F_1 . F_2$$

nd § 11 Gleichung 1 a). Das Product $F_1 . F_2$ ist für Listing's schematisches uge gleich 301,26 Quadratmillimeter. (Als runde Zahl genügt 300.)

l_1	l_2	z
∞	0 mm	0 mm
65 Meter.	0,005	0,0011
25	0,012	0,0027
12	0,025	0,0056
6	0,050	0,0112
3	0,100	0,0222
1,5	0,200	0,0443
0,75	0,40	0,0825
0,375	0,80	0,1616
0,188	1,60	0,3122
0,094	3,20	0,5768
0,088	3,42	0,6484

Man sieht aus dieser Tabelle auch, wie wenig sich die Lage des Bildchens ändert, wenn die sich ändernde Entfernung des Objects noch sehr grofs ist, und wie schnell das Bildchen sich von der Netzhaut entfernt, wenn das Object in geringerer Entfernung vom Auge sich mehr und mehr nähert.

Um zu ermitteln, für welche Entfernungen sich ein Auge accommodiren kann, sind verschiedene Instrumente, Optometer, vorgeschlagen worden.

Die zuerst sich darbietende Methode, nach welcher wir im täglichen Leben Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit zu unterscheiden pflegen, ist die, zu beobachten, in welcher Entfernung kleinere Gegenstände, z. B. Buchstaben, am besten gesehen werden. Indessen ist dabei keine grosse Genauigkeit der Angaben möglich. Einmal sind gedruckte Buchstaben nie so klein, um nicht auch bei ziemlich beträchtlichen Abweichungen der Accommodation noch gelesen werden zu können. So kann ich eine Druckschrift, wie die vorliegende, in 13 Zoll Entfernung noch lesen, während mein Auge für seinen Fernpunkt, 3 Fuss Entfernung accommodirt ist. Und ebenso kann ich sie in 2,7 Zoll Entfernung lesen, obgleich ich das Auge nur auf 3,6 Zoll accommodiren kann. Ausserdem ist zu bemerken, dass die Gegenstände, wenn man sie dem Auge nähert, unter einem grösseren Gesichtswinkel erscheinen, und deshalb unter übrigens gleichen Umständen deutlicher erkannt werden als in gröfserer Entfernung. Sehr kleine, schwer zu erkennende Gegenstände werden deshalb dem Auge zuweilen näher gebracht, namentlich von Hypermetropen, als die Accommodationsdistanz ist, weil man bei mäfsiger Ungenauigkeit des Bildes und gröfserem Sehwinkel zuweilen mehr erkennt, als bei genauer Accommodation und geringerem Sehwinkel. Will man also die Accommodationsweiten auf diese
101 Art ermitteln, so mufs man für verschiedene Abstände verschiedene Gesichtsobjekte wählen, und alle so fein, dafs sie in der betreffenden Entfernung von einem gut accommodirten Auge nur eben noch erkannt werden können.

Porterfield[1] hat zuerst den Scheinerschen Versuch zur Untersuchung der Sehweiten empfohlen, und darauf ein Optometer gegründet, welches Th. Young[2] verbesserte. Letzterer empfiehlt einen feinen weifsen Faden auf dunklem Grunde auszuspannen, so dafs sein eines Ende nahe unter dem Auge sich befindet, und dann durch einen Schirm mit zwei Löchern nach dem Faden zu sehen. Er erscheint dann nur an der Stelle, für welche das Auge accommodirt ist, einfach, an allen übrigen Stellen doppelt. Die einfach erscheinende Stelle kann leicht bezeichnet werden. Ihre Entfernung vom Auge entspricht der beim Versuche stattfindenden Sehweite des Auges. Übrigens kann man auch andere feine Objecte benutzen, welche man in verschiedene Entfernung vom Auge bringt. Man mufs die Objecte für diese Versuche so fein wählen, dafs sie durch die Löcher des Schirms eben noch deutlich gesehen werden können, z. B. feine Nadeln auf hellem

1 W. Porterfield, *On the eye.* Vol. I. p. 423. — *Edinb. medical Essays.* IV. 185.
2 Th. Young, *Phil. Transactions.* 1801. P. I. p. 34.

Grunde, oder feine Löcher und Spalten in dunklen Schirmen. Auch mufs man darauf achten, dass man das Object durch beide Löcher gleichzeitig erblickt, sonst ist man Irrungen leicht ausgesetzt. Das Gesichtsfeld reducirt sich bei diesen Versuchen auf die verhältnifsmäfsig breiten Zerstreuungsbilder der beiden Löcher des Schirms, welche zum Theil in einander greifen müssen, wie *Fig. 65* a und b darstellt. Nur in dem mittleren gemeinsamen Theile c, welcher zugleich am hellsten ist, können Doppelbilder erscheinen wie die Nadelspitzen g, nicht aber in den seitlichen Theilen, welche nur je einem Zerstreuungsbilde angehören. In dem letzteren erscheinen die Bilder stets einfach, wie die Nadel h. Dieser Umstand macht für ungeübte Personen das Gelingen des Versuchs oft schwierig.



Fig. 65.

Eine ähnliche Methode, um die Accommodationsdistanzen, namentlich den Fernpunkt zu bestimmen, schien mir in der Ausführung noch gröfsere Genauigkeit zu geben als das Sehen durch zwei Löcher. Man läfst durch eine kleine Öffnung eines Schirms Licht des Himmels oder eine Kerzenflamme fallen. Solch ein kleiner Lichtpunkt erscheint einem Auge, welches nicht genau für ihn accommodirt ist, als ein fünf- oder sechsstrahliger Stern (s. unten § 14), während er bei passender Accommodation als ein ziemlich gut begrenzter, wenn auch nicht ganz regelmäfsig runder Lichtpunkt erscheint. Schiebt man nun einen Schirm von der Seite her vor die Pupille, so sieht man die Lichtfigur, welche der Punkt bildet, in der Regel von einer Seite her sich verdunkeln, und zwar von derselben Seite, wo der Schirm vorgeschoben wird, wenn das Object weiter entfernt ist, als die Accommodationsdistanz beträgt; von der entgegengesetzten Seite, wenn es näher ist. Bei richtiger Accommodation dagegen wird das Object entweder in allen seinen Theilen gleichzeitig dunkler, oder es wird in unregelmäfsiger Weise verlöscht, so dafs es z. B. oben und unten an zu schwinden fängt, während man den Schirm von einer Seite her vor die Pupille schiebt.

Ein anderes Mittel, die Sehweite zu bestimmen, welches namentlich für Ungeübte leichter ausführbar ist als der Scheiner'sche Versuch, ist von der Farbenzerstreuung im Auge hergenommen, und wird in § 13 beschrieben werden.

Ruete's Optometer ist bestimmt, sich gegen absichtliche Täuschungen durch den Untersuchten zu sichern. Es ist ein kastenartiger Schirm, durch welchen eine Röhre geht. Der zu untersuchende Mensch blickt durch diese Röhre auf ein Buch, von dem er nur einige Worte sieht, und dessen Entfernung zu beurtheilen er kein Mittel hat (als die Accommodation des Auges selbst). Man hält ihm bald kleinere, bald gröfsere Druckschrift in verschiedenen Entfernungen vor; bei beabsichtigter Täuschung wird er schwer vermeiden, sich in Widersprüche zu verwickeln.

Noch sicherer ist zu diesem Zweck der Augenspiegel mit aufrechtem Bilde (s. u. n
§ 16) zu gebrauchen, indem der Beobachter zu ermitteln sucht, durch welche Linse er selbst bei Entspannung seiner eigenen Accommodation die Netzhautgefäfse im Hintergrunde des fremden Auges deutlich sieht.

Statt der wechselnden Brillengläser hat A. v. Graefe[1] auch ein ganz schwach vergröfserndes Galilei'sches Doppelfernrohr angewendet, in welchem die Änderung des Abstandes von Objectiv und Ocular durch ein Getriebe geschieht, dessen Drehung genau abgelesen werden kann. Ein ähnliches Optometer mit Kepler'schem Fernrohr ist später von J. Hirschberg[2] construirt.

Künstliche Augen zur Erläuterung von Kepler's Theorie des Sehens und der Wir- 102
kung der Brillen sind beschrieben worden von Haller[3], Huygens[4], Wolf[5], Adams[6] und Kries[7].

[1] A. v. Graefe, *Klinische Monatsblätter.* Bd. III. S. 392.
[2] J. Hirschberg, *Beiträge zur praktischen Augenheilkunde.* II. p. 4. Leipzig 1877.
[3] A. Haller, *Elementa Physiologiae.* 1763. V. 469.
[4] C. Huygens, *Dioptrica.* Lugduni 1704. p. 112.
[5] C. v. Wolf, *Nützliche Versuche.* III. 481. Halle 1721.
[6] G. Adams, *Essay on vision.* London 1792.
[7] F. C. Kries, *Übersetzung des Vorigen.* Gotha 1794.

Kepler[1], welcher zuerst richtige Begriffe von der Brechung des Lichts im Auge hatte, sah auch die Nothwendigkeit einer Accommodation des Auges für verschiedene Entfernungen ein, und erklärte die bei unpassender Accommodation auftretenden Zerstreuungskreise. Scheiner[2] beschrieb die Erscheinungen, welche bei unpassender Accommodation eintreten, wenn man durch einen Schirm mit zwei Öffnungen sieht. Erklärungen dieses Versuchs gaben de la Hire[3], der aber dabei die Möglichkeit der Accommodation für verschiedene Entfernungen läugnete, später J. de la Motte[4] und Porterfield[5], welcher Letztere zugleich die irrigen, von de la Hire aus dem Versuche gezogenen Schlüsse berichtigte. Die scheinbaren Bewegungen eines aufser der Sehweite liegenden Gegenstandes, wenn man ihn durch eine enge Öffnung erblickt und diese selbst bewegt, erwähnt Mile[6] zuerst und beschrieb später H. Mayer[7] ausführlicher, mit Beziehung auf die Theorie der Accommodation.

Eine ausführliche Darstellung des Entstehens der Zerstreuungskreise, ihres Übereinandergreifens u. s. w. gab Jurin[8].

Was den Gebrauch der Brillengläser betrifft, so kommt bei Plinius[9] eine Stelle vor, welche darauf hinzudeuten scheint. Er berichtet, dafs concave Smaragde vorkämen, welche das Gesicht sammelten (*visum colligere*), und deshalb nicht geschnitten werden dürften. Der Kaiser Nero, welcher kurzsichtig war (Plinius I. II. c. 34), sah durch einen solchen Smaragd den Kämpfen der Gladiatoren zu. Später findet man wieder Nachrichten aus dem Anfange des 14. Jahrhunderts, wo die Brillen als eine neue Erfindung betrachtet wurden. Ein Florentiner Edelmann, Salvinus Armatus, gestorben 1317, wird in seiner Grabschrift als Erfinder der Brillen genannt[10]. Alexander de Spina, ein Mönch aus Pisa, gestorben 1313, soll ein Paar Brillen bei Jemandem gesehen haben, der ein Geheimnifs daraus machte, solche nachgemacht und an viele Leute vertheilt haben[11]. Maurolycus (1494 bis 1575) versuchte später eine Erklärung der Wirkung zu geben, die aber entsprechend seiner Theorie vom Sehen unrichtig war. Er läfst nämlich die Sehestrahlen, d. h. Strahlen, von denen je einer von je einem Punkte des Objects ausgeht, durch die Gläser convergenter oder divergenter werden, so wie es in der That nur mit den von einem einzigen Punkte ausgegangenen Lichtstrahlen der Fall ist. Erst Kepler[12] gab die vollständige und richtige Theorie von dem Nutzen der Brillen.

§ 12. Mechanismus der Accommodation.

103 Die Veränderungen, welche man bei Accommodationsänderungen am Auge eines Anderen beobachten kann, sind folgende:

1) Die Pupille verengert sich bei der Accommodation für die Nähe, erweitert sich bei der für die Ferne. Diese Veränderung ist leicht zu beobachten, und am längsten bekannt. Man bemerkt sie an jedem

---

1 J. Kepler, *Paralipomena.* p. 200.
2 C. Scheiner, *Oculus.* p. 37 u. 41. *Ähnliche Versuche.* p. 32 u. 49.
3 Ph. de la Hire, *Journal des Sçavans.* 1685 und in *Accidens de la vue.* 1693.
4 J. de la Motte, *Versuche und Abhandlungen der Gesellschaft in Danzig.* Bd. II. p. 290.
5 W. Porterfield, *On the eye.* Vol. I. Book 3. Chapt. 3.
6 J. Mile, *Poggendorff's Ann.* XLII. 40.
7 H. Mayer, *Prager Vierteljahrsschrift.* 1851. Bd. IV. S. 92.
8 J. Jurin, *Essay on distinct and indistinct vision.* R. Smith, *A complet system of optics.* Cambridge 1738.
9 Plinius, L. XXXVII. c. 5.
10 Volkmanns *Nachrichten von Italien.* Bd. I. S. 542. Die Grabschrift in der Kirche Maria maggiore zu Florenz wurde später weggenommen und hiefs:

Qui giace Salvino degli Armati
Inventore degli Occhiali.
Dio gli perdoni le peccati.

11 R. Smith, *A complete system of optics. Remarks* p. 12. Cambridge 1738.
12 J. Kepler, *Paralipomena.* p. 200.

Auge, welches man abwechselnd einen nahen und einen in derselben Richtung fern liegenden Gegenstand betrachten läfst. Man hat nur darauf zu achten, dafs die Pupille nicht durch zu starkes einfallendes Licht dauernd sehr verengt wird.

2) Der Pupillarrand der Iris und die Mitte der vorderen Linsenfläche verschieben sich bei eintretender Accommodation für die Nähe etwas nach vorn. Um dies zu beobachten, wähle man einen scharf bestimmten fernen Fixationspunkt, und stelle als näheren eine Nadelspitze hin. Der Beobachtete bedeckt das eine Auge, und bringt das andere in eine solche Stellung, dafs die Nadelspitze ihm den ferneren Fixationspunkt genau deckt. Er mufs darauf achten, dafs sein Auge diese Stellung nicht verläfst, und darf es auch nicht auf seitlich liegende Gegenstände abschweifen lassen, weil es bei diesem Versuche wesentlich darauf ankommt, dafs die Richtung des Auges nicht verändert wird. Der Beobachter stellt sich so, dafs er die Hornhaut des beobachteten Auges von der Seite und etwas von hinten sieht, und dafs er die schwarze Pupille dieses Auges 104
etwa noch zur Hälfte vor dem Hornhautrande der Sclerotica hervorragen sieht, so lange das beobachtete Auge in die Ferne blickt. Nun lasse er den näheren Gesichtspunkt, die Nadelspitze, fixiren; sogleich wird er bemerken, dafs das schwarze Oval der Pupille und auch wohl ein Theil des ihm zugekehrten Irisrandes vor der Sclerotica sichtbar werden. *Fig. 66 a* stellt dar, wie das fernsehende Auge hierbei erscheint, *Fig, 66 b* das nahesehende. Die Veränderung in der Stellung des schwarzen Flecks wird am auffallendsten, wenn man auf die Breite des hellen Zwischenraums zwischen ihm und einem am vorderen Rande der Hornhaut erscheinenden dunkleren Streifen c_1 c_2 achtet. Dieser Streifen ist das durch die Brechung in der Hornhaut verzerrte Bild des über die Iris hervorragenden jenseitigen Randes der Sclerotica, der an seiner inneren Seite gewöhnlich beschattet, und daher dunkler als die von vorn erleuchtete Iris erscheint. Wenn die Accommodation für die Nähe eintritt, sieht man den Zwischenraum zwischen diesem Streifen c_1 c_2 und der dunklen Pupille schmaler werden. Verschöbe sich der Pupillarrand nicht nach vorn, so müfste beim Nahesehen dieser Zwischenraum umgekehrt breiter werden, weil sich die Pupille von allen Seiten gleichmäfsig verengert, und ebenso würde er breiter werden, wenn das Hervortreten der Pupille durch eine zufällige Wendung des beobachteten Auges gegen den Beobachter hin entstände. Indem man also auf den genannten Streifen achtet, kann man sich vor jeder Täuschung sichern. Dafs die vordere Linsenfläche stets dicht hinter der Pupille bleibt, ist in § 3 erwiesen.

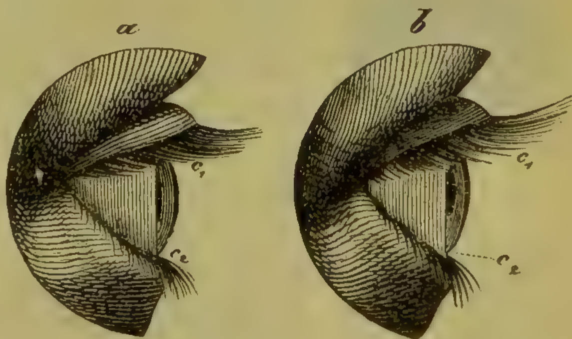


Fig. 66.

3) Die vordere Fläche der Krystallinse wird gewölbter beim Nahesehen, flacher beim Sehen in die Ferne. Man kann sich davon durch das an der vorderen Fläche der Linse zurückgeworfene Licht überzeugen. Man gebe, wie beim vorigen Versuche, dem beobachteten Auge wieder zwei scharf bestimmte, in einer Linie vor ihm liegende Gesichtspunkte. Das Zimmer mufs vollständig verdunkelt sein, und aufser einer grofsen und hellen Lampenflamme, welche man seitwärts von der Gesichtslinie in gleicher Höhe mit dem Auge aufstellt, darf sich kein gröfserer heller Gegenstand vor dem beobachteten Auge befinden, um alle störenden Hornhautreflexe zu vermeiden. In *Fig. 67* sei *A* das beobachtete Auge, *C* die Flamme im Grundrisse, *n* der nähere, *f* der fernere Gesichtspunkt. Der Beobachter mufs

105 nun sein Auge in gleicher Höhe mit dem beobachteten Auge und der Lampe anbringen, so dafs der Winkel *B A f* ungefähr gleich *C A f* ist, und so lange sein Auge in der Nähe von *B* hin und her bewegen, bis er die Reflexe von beiden Linsenflächen sieht. Diese beiden Reflexe *Fig. 68 b* und *c* sind sehr viel lichtschwächer als der Reflex der Hornhaut *a*. Der von der vorderen Linsenfläche *b* bildet ein aufrechtstehendes Bildchen der Flamme, etwas gröfser als das von der Hornhaut entworfene, aber meist so verwaschen, dafs man die Gestalt der Flamme nicht genau erkennen kann. Sein scheinbarer Ort ist weit (8 bis 12 mm) hinter der Pupille. Es verschwindet daher auch schon bei leichten Bewegungen des beobachtenden Auges oder des Lichts hinter dem Irisrande. Wir wollen es das erste Linsenbild nennen, das von der hinteren Fläche entworfene dagegen das zweite. Dieses letztere, *Fig. 68 c* ist umgekehrt und viel kleiner als das Hornhautbild und das erste Linsenbild, erscheint daher als ein helles, ziemlich gut begrenztes Pünktchen. Sein scheinbarer Ort ist nahe hinter der Fläche der Pupille, etwa 1 mm von ihr entfernt; es verschiebt sich daher verhältnifsmäfsig wenig gegen die Pupille und das Hornhautbild, wenn der Beobachter die Stellung seines Kopfes ändert.

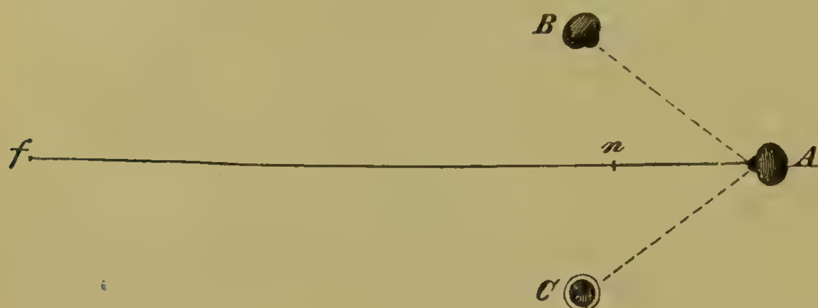


Fig. 67.



Fig. 68.

Wenn das beobachtete Auge sich für die Nähe accommodirt, wird das erste Linsenbild beträchtlich kleiner, und nähert sich in der Regel auch der Mitte der Pupille. Die Verkleinerung bemerkt man am besten, wenn man statt einer Flamme einen Schirm mit zwei senkrecht über einander stehenden Öffnungen angewendet hat, durch deren jede eine Flamme ihr Licht wirft, oder wenn man etwas unterhalb der einen Flamme einen horizontalen

Spiegel anbringt, in dem sich die Flamme spiegelt. Das Spiegelbild der Flamme vertritt dann die zweite Flamme. Jedes der reflectirten Bilder besteht dann aus zwei lichten Stellen, und man sieht leicht und deutlich, wie die der vorderen Linsenfläche angehörigen sich einander nähern, wenn das Auge in die Nähe, aus einander treten, wenn es in die Ferne sieht. In *Fig. 69* stellt *A* die Reflexe beim Fernsehen, *B* beim Nahesehen dar; *a* ist der Reflex an der Hornhaut, *b* an der vorderen, *c* an der hinteren Linsenfläche. Als Lichtquelle sind zwei Flammen angenommen, welche durch rechtwinklige Ausschnitte eines Schirms Licht senden.

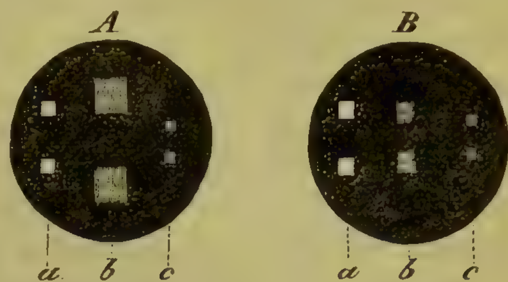


Fig. 69.

Da nun ein convexer Spiegel unter übrigens gleichen Umständen desto kleinere Bilder entwirft, je kleiner sein Radius, so folgt aus dieser Beobachtung, dafs die vordere Fläche der Krystallinse bei der Accommodation für die Nähe sich stärker wölbt. Allerdings würde eine sehr geringe Verkleinerung des Spiegelbildchens auch wegen der Brechung der Strahlen in der Hornhaut entstehen, wenn die vordere Fläche der Krystallinse sich nur der Hornhaut näherte, ohne ihre Wölbung zu verändern. Doch ergiebt die Rechnung, dafs die Verkleinerung des Bildchens aus dieser Ursache äufserst unbedeutend sein würde im Vergleich zu der wirklich beobachteten.

4) A u c h d a s S p i e g e l b i l d c h e n , w e l c h e s d i e h i n t e r e F l ä c h e d e r K r y s t a l l i n s e e n t w i r f t , w i r d b e i d e r A c c o m m o d a t i o n f ü r d i e N ä h e e t w a s k l e i n e r. *106* Um dies zu constatiren, mufs man genauere Beobachtungsmethoden anwenden, welche im Anhange dieses Paragraphen beschrieben werden sollen. Durch eben solche Methoden findet man, dafs der scheinbare (durch Linse und Hornhaut gesehene) Ort der hinteren Linsenfläche sich nicht merklich verändert. Da der scheinbare Ort der hinteren Linsenfläche sich nur sehr wenig von ihrem wirklichen Orte unterscheidet, und die Veränderungen der Cardinalpunkte des Auges bei Accommodationsänderungen, wie unten gezeigt werden wird, der Art sind, dafs sie einen sich wenigstens theilweis gegenseitig aufhebenden Einflufs auf diesen scheinbaren Ort ausüben würden, können wir annehmen, dafs der wahre Ort der hinteren Linsenfläche bei der Accommodation sich nicht merklich ändert. Auch auf die Gröfse des Spiegelbildchens der hinteren Linsenfläche üben die Veränderungen der Cardinalpunkte einen theilweis entgegengesetzten Erfolg aus. Doch läfst sich zeigen, dafs auch bei den günstigsten Annahmen, welche für die Veränderung der optischen Constanten möglicher Weise gemacht werden können, um die Verkleinerung des Bildchens beim Nahesehen zu erklären, die Verkleinerung nicht ganz so grofs ausfallen könnte, als sie wirklich beobachtet wird. Daraus kann also geschlossen werden, dafs jedenfalls auch die hintere Linsenfläche beim Nahesehen sich stärker wölbt, aber nur in geringem Grade.

Da somit den Beobachtungen gemäfs die vordere Fläche der Linse vorrückt, die hintere ihren Ort nicht verläfst, wird die Linse beim Nahesehen in der Mitte dicker. Da sie andererseits ihr Volumen nicht verändern kann, müssen wir daraus schliefsen, dafs sich die Durchmesser ihrer Äquatorialebene verkürzen.

In dem Querschnitte des vorderen Theiles des menschlichen Auges *Fig. 70* habe ich Hornhaut und Linse nach den Mafsen eines der von mir untersuchten lebenden Augen in fünfmaliger Vergröfserung construirt, und zwar auf der mit *F* bezeichneten Seite in der Accommodation für die Ferne, auf der mit *N* bezeichneten in der für die Nähe. Die Ciliarfortsätze sind in dieser Figur so gezeichnet, als wenn man sie durch die zwischen sie eingeschobene Falte der Zonula hindurch sähe, so dafs man den Verlauf der Zonula erkennt. Mit *a a* ist der vordere Rand ihrer Falten, mit *b b* der hintere bezeichnet.

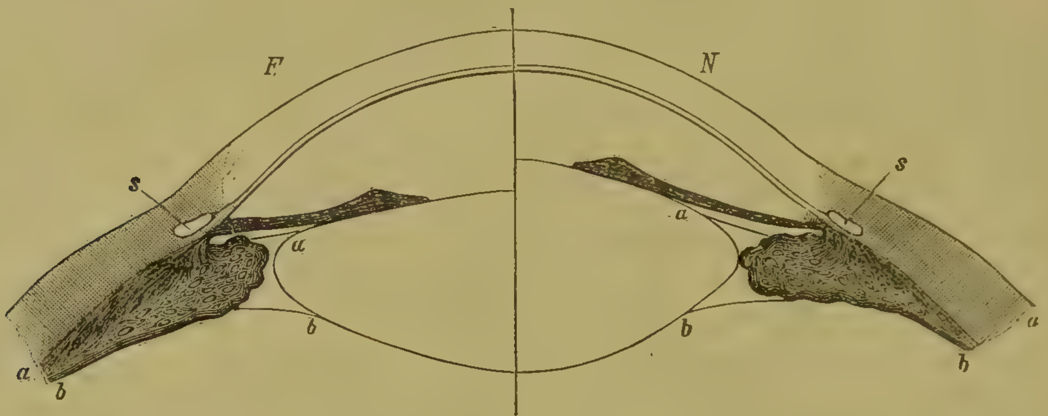


Fig. 70.

Durch die stärkere Wölbung der Oberflächen der Linse wird ihre Brennweite verkürzt, während ihre Hauptpunkte sich gleichzeitig nach vorn verschieben, theils weil die vordere Fläche der Linse vorrückt, theils weil die vordere Fläche im Verhältnifs zur hinteren sich stärker wölbt. Beide Umstände tragen dazu bei, die von der Hornhaut convergent auf die Linse fallenden Strahlen äufserer leuchtender Punkte eher zur Vereinigung zu bringen, als dies in dem fernsehenden Auge geschieht. Die Gröfse der an der Linse beobachteten Veränderungen scheint auch auszureichen, um die Breite der Accommodation des lebenden Auges zu erklären.

109 5) Der peripherische Rand der Iris weicht beim Nahesehen zurück. Cramer hat zuerst bemerkt, dafs man bei Kindern mit blofsem Auge beobachten könne, wie sich die vordere Kammer beim Nahesehen erweitert. Ich selbst habe gefunden, dafs man dies auch bei Erwachsenen mittels einer besonderen Art der Beleuchtung des Auges erkennen könne. Wenn man nämlich Licht ganz von der Seite her auf das Auge fallen läfst, so dafs die Iris gröfstentheils beschattet ist, so bildet sich bei einer richtigen Stellung des Auges auf der dem Lichte gegenüberliegenden Seite der

Iris ein gekrümmter heller Streifen, eine kaustische Linie. In *Fig. 71* ist in der unteren Hälfte der Gang der gebrochenen Strahlen für eine Kugel von dem Brechungsvermögen der wässrigen Feuchtigkeit dargestellt, auf welche parallele Strahlen fallen. F sei der Brennpunkt der Cen-

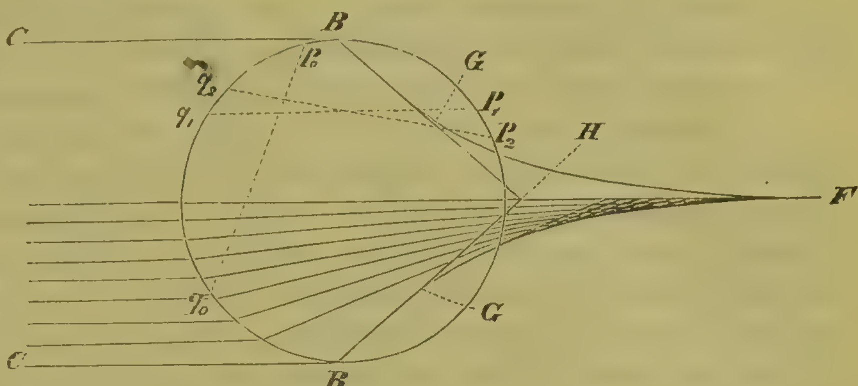


Fig. 71.

tralstrahlen. Die Randstrahlen weichen erheblich von dem Brennpunkte der Centralstrahlen ab, und schneiden sich mit den nächst benachbarten Strahlen in einer kaustischen Fläche, deren Durchschnitt durch die Curven $G F$ angegeben ist. Der äufserste Strahl ist $C B$, er wird gebrochen nach $B H$; in dem Halbirungspunkte der Sehne des Kreises, welche der gebrochene Strahl bildet, in G, ist das Ende der kaustischen Linie $G F$. Nun denke man sich im Inneren der brechenden Kugel Ebenen gelegt, die ähnlich der Iris in der wässrigen Feuchtigkeit liegen. Legen wir eine solche Ebene senkrecht zur Ebene der Zeichnung durch q_0 P_0, so wird ihre ganze Vorderfläche vom Lichte getroffen und beleuchtet werden. Legen wir die Ebene durch q_1 P_1, so liegt ein Theil ihrer oberen Seite vor dem äufsersten gebrochenen Strahle $B G$, dieser wird beleuchtet werden; ein anderer liegt dahinter und bleibt dunkel. Legen wir die Ebene durch q_2 P_2, so schneidet sie die kaustische Fläche. Es bleibt wieder ein Theil hell, einer dunkel, aber die Grenze zwischen dem beleuchteten und nicht beleuchteten Theile wird jetzt durch eine helle Linie bezeichnet, welche der Linie entspricht, in welcher die Ebene q_2 P_2 die kaustische Fläche schneidet. Aus der Figur ist leicht ersichtlich, dafs, wenn der Theil der Ebene q_2 P_2, welcher die kaustische Fläche schneidet, sich rückwärts gegen den Mittelpunkt der Kugel hin bewegt, die helle Linie dem Rande näher rücken mufs. Die Strahlen, um die es sich hierbei handelt, sind die zwischen q_2 und B eintretenden.

Dies kann man nun an der Iris beobachten, wenn sich das Auge für die Nähe accommodirt. Beleuchtet man das Auge eines Anderen, welcher abwechselnd einen näheren und ferneren Fixationspunkt betrachtet, die sich genau decken, so von der Seite, dafs die kaustische Linie nahe am Ciliarrande der 110
Iris erscheint, so sieht man sie bei der Accommodation für die Nähe sich dem Rande nähern, bei der für die Ferne sich davon entfernen. In *Figur 72* ist diese Beleuchtung der Iris dargestellt; das Licht fällt von der Seite



Fig. 72.

in der Richtung des Pfeils auf das Auge: auf der Iris sieht man an der dem Lichte zugekehrten Seite *b* den Hornhautreflex des Lichts, auf der anderen nach *a* hin die kaustische Linie, deren Licht zum Theil noch durch den vorspringenden Rand der Sclerotica hindurchscheint.

n Aus diesen Thatsachen habe ich folgende Ansicht über den Mechanismus der Accommodation hergeleitet. Die Krystallinse ist ein elastischer Körper, der bei Entspannung der inneren Augenmuskeln durch den Zug der an ihrem Rande sich anheftenden Zonula in radialer Richtung gedehnt und daher in Richtung ihrer Symmetrieaxe etwas zusammengezogen ist. Die Elasticität der Linse wird hauptsächlich ihrer Kapselmembran zu verdanken sein, denn wenn die Kapsel abgestreift ist, zeigen die oberflächlichen Schichten der Linse mehr eine schleimige als eine gallertige Consistenz. Sie haben keine Spur von dem Bestreben ihre Form gegen äufsere Kraft zu behaupten, oder nach Änderung der Form in die frühere Form zurückzukehren. Dafs aber die von der Kapsel umschlossene Linse elastisch ist, und dafs der Zug der Zonula genügt, sichtbare Formveränderungen hervorzubringen, läfst sich an todten, nicht zu alten menschlichen und thierischen Augen zeigen, wenn man von vorn her Linse und Zonula freilegt, und dann vorsichtig mit zwei feinen Pincetten die Zonula an entgegengesetzten Seiten der Linse fassend einen Zug ausübt. Man sieht dabei die Linse sich in Richtung des Zuges verlängern und wieder in ihre Kreisform zurückkehren, sobald der Zug nachläfst.

Im unverletzten Zustande ist die Zonula an ihrem äufseren Rande ziemlich fest mit den niedrig auslaufenden Firsten der Ciliarfortsätze und dadurch mit der Aderhaut verbunden, so dafs Linse, Zonula und Aderhaut eine vollständig geschlossene vom Glaskörper prall ausgefüllte Kapsel bilden. Der Druck der Flüssigkeit wird die Spannung der genannten Theile unterhalten müssen.

Die in Richtung der Meridiane des Auges verlaufenden Radialfasern des Ciliarmuskels, welche am hintern Ende der Ciliarfortsätze im Gewebe der Aderhaut endigen, werden bei ihrer Zusammenziehung das dort mit der Aderhaut und Glashaut fest verbundene hintere Ende der Zonula nach vorn ziehen, und dadurch die Spannung der Zonula und ihren Zug gegen die Peripherie der Linse aufheben müssen, so dafs in Folge davon die Linse in Richtung ihrer Durchmesser sich zusammenziehen, in Richtung ihrer Axe sich verdicken wird. Dadurch wird auch nothwendig die Wölbung ihrer beiden Flächen vergröfsert werden.

Die vordersten mehr nach der Augenaxe hin gerichteten Fasern des Ciliarmuskels biegen zum Theil in Richtungen um, die dem Rande der Linse parallel verlaufen, und setzen so eine Art Ringfaserschicht zusammen, die von Max Langenbeck[1] entdeckt und *Compressor lentis* oder *Sphincter lentis* genannt worden ist. Sie liegen der Linse aber nirgend an. Die Function

[1] Max Langenbeck, *Klinische Beiträge zur Chirurgie und Ophthalmologie.* 1849.

dieser Fasern scheint mir nur die zu sein, auch den vorderen Theil der Ciliarfortsätze der zurückweichenden Linse und Zonula nachzuschieben, so daſs keine Zerrung in deren Gewebe und kein Zug auf den vorderen Theil der Zonula entstehen kann, wodurch die Wirkung der Radialfasern des Ciliarmuskels beeinträchtigt würde.

Der Zug des Ciliarmuskels wird aber auch nach vornhin sich geltend machen, wo er sich an das elastische Gewebe an der inneren Seite des *Canalis Schlemmii* ansetzt. Er wird dieses nach rückwärts hin dehnen und damit auch den Ansatz der Iris nach rückwärts ziehen, was, wie die unter 5) oben beschriebenen Thatsachen zeigen, im lebenden Auge wirklich geschieht. Es wird dadurch Platz gewonnen für die wässrige Feuchtigkeit, die andrerseits durch das Vordringen der Krystallinse in der Augenaxe an Raum verliert.

Welche Fläche der Linse durch diese Änderung stärker verändert wird, muſs wesentlich davon abhängen, ob der Zug der Zonula mehr die vordere oder hintere Linsenfläche trifft. Nach Max Schultze[1] treten geradezu alle Fasern der Zonula auf den peripherischen Rand der vorderen Hälfte der Linsenkapsel. Jedenfalls thun das die starken Fasern, welche auf den nach vorn vortretenden Firsten der Zonulafalten verlaufen. Daſs diese gespannt und unnachgiebig sind, zeigt sich auch bei dem alten, oben schon erwähnten anatomischen Experimente Petit's, wo man eine feine Canüle in den sogenannten *Canalis Petiti*, d. h. in den Raum zwischen Zonula und Glashaut einsticht und dann Luft einbläst. Dabei stülpen sich die hinteren schlaffen Theile der Zonula nach vorn aus und treten zwischen den straff gespannten Auſsenfirsten eiförmig gewölbt nach vorn, einer antiken Eierleiste entsprechend, daher Petit den Canal *Canal godronné* nannte.

Aus dieser Straffheit der Auſsenfirsten der Zonula folgt nun, daſs der Zug derselben hauptsächlich die vordere Linsenkapsel treffen und abplatten muſs, wodurch das ganze Centrum der Linse etwas nach rückwärts gedrängt wird.

Eine solche Durchbiegung der Linse wird die vordere Fläche platter machen müssen, als sie durch rein radialen Zug geworden wäre. An der hinteren Fläche dagegen wird der gröſsere Theil der Abplattung, den die radiale Spannung hervorbringen könnte, durch die Durchbiegung wieder aufgehoben. Auch die Verschiebung nach vorn, welche die hintere Fläche durch die Verkürzung der Linsenaxe erleiden sollte, wird durch die beschriebene Durchbiegung wieder aufgehoben. Indessen ist klar, daſs die Linsensubstanz und der vor ihr ausweichende Glaskörper längs der Peripherie der Linse der wässrigen Feuchtigkeit gegenüber an Platz wieder gewinnen müssen, was die Linse in der Mitte durch das Zurückweichen ihrer vorderen Fläche verliert.

In der That schiebt sich, wie wir gesehen, wenn diese Spannung im fernsehenden Auge eintritt, der davor liegende peripherische Theil der Iris vor. Da die Iris ventilartig der vorderen Fläche der Linse anliegt, ist an

[1] M. Schultze, *Archiv für mikroskopische Anatomie.* Bd. III. S. 496.

ein schnelles Eindringen von Wasser in den Raum hinter der Iris nicht zu denken; das Vortreten der peripherischen Iris zeigt ohne Zweifel auch ein entsprechendes Vortreten des hinter ihr liegenden Ciliarkörpers an.

Gespannte elastische Membranen, die ein unveränderliches Volumen einer incompressibeln Flüssigkeit umschliefsen, und mit einem kreisförmigen Rande angeheftet sind, wie die Zonula an der Aderhaut, streben, je mehr ihre Spannung wächst, desto mehr sich der Form eines Kugelsegments zu nähern. Im ungespannten Zustande, beim Nahesehen, wölbt sich die vordere Linsenfläche vor der flachen Krümmung der vorderen Zonulafirsten hervor. Im gespannten Zustande, beim Fernsehen, viel weniger. Indessen ist der Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche von etwa 10 mm doch immer noch kleiner, als der der Zonulawölbung, der etwa auf 14 mm zu schätzen ist.

Für die Theorie des Mechanismus der Accommodation sind noch einige der an operirten Menschen gemachten Erfahrungen wichtig. A. von Graefe[1] beobachtete an einem Auge, wo er die ganze Iris durch Operation entfernt hatte, dafs die normale Breite der Accommodation vorhanden war, und auch die Krümmungsänderung der vorderen Linsenfläche deutlich beobachtet werden konnte. Daraus geht hervor, dafs die Iris bei der Accommodation keine wesentliche Rolle spielt, wie es A. Cramer[2] vermuthet hatte.

Donders[3] stellte in zwei für die Untersuchung sehr günstigen Fällen, wo die Linse durch Staaroperation entfernt war, aber mit Hülfe einer convexen Brille noch gut gesehen werden konnte, fest, dafs keine Spur von Accommodation vorhanden war, trotzdem bei dem Bestreben nahe Objecte zu sehen Convergenz beider Augenaxen und Verengerung der Pupille eintrat. Das zeigt also namentlich, dafs keine Veränderung in der Länge der Axe des Augapfels der Accommodation zu Hülfe kommt, wie dies früher vielfach vermuthet worden war.[4]

Dasselbe wird bestätigt durch die Wirkung des Atropins auf das Auge, wobei der *Sphincter pupillae* und der Ciliarmuskel zeitweilig vollständig gelähmt werden, die Pupille sich stark erweitert und die Accommodation ganz aufhört. Die äufseren Augenmuskeln, durch deren Druck auf den Äquator des Bulbus dieser nach hinten verlängert werden könnte, sind indessen ganz wirkungskräftig. Es ergiebt sich also daraus, dafs sie nicht wesentlich zur Accommodation beitragen.

831 Zu erwähnen ist in dieser Hinsicht noch ein Versuch von Bahr[5] am unverletzten Auge.

Bahr betrachtete im Zustande der Accommodation ein nahes scharf beleuchtetes Rechteck, bis ein kräftiges Nachbild in seinem Auge entwickelt war, und warf dieses dann mit nachlassender Accommodation auf eine ferne Fläche, auf der er die scheinbare Gröfse des Nachbildes bestimmte. Da

[1] A. v. Graefe, *Graefe's Archiv für Ophthalmol.* Bd. VII. (2) 150.
[2] A. Cramer, *het Accommodationsvermogen der Oogen*, Haarlem, 1853. Übersetzt von Doden, Leer. 1855.
[3] F. C. Donders, *On the anomalies of accommodation and refraction.* London. 1864. p. 320—321.
[4] Eine entgegengesetzte Beobachtung will Förster gemacht haben. S. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde.* X. Jahrg. Febr., März. 1872.
[5] C. R. Bahr, *De oculi accommodatione experimenta nova.* Berlin 1857. (Dissert.)

nun die Gröfse des Bildes auf der Netzhaut proportional ist dem Abstande der Netzhaut vom hinteren Knotenpunkte des Auges, und die Gröfse des Netzhautbildes in beiden Beobachtungen dieselbe war, so läfst sich aus einem solchen Versuche berechnen, in welchem Verhältnifs sich der Abstand der Netzhaut vom zweiten Knotenpunkte ändert. BAHR fand aus seinen Versuchen eine Verschiebung des Knotenpunkts nach vorn um 0,35 Millimeter; meine weiter unten angestellte neuere Berechnung ergiebt 0,356. Fände eine Verlängerung des Augapfels statt, so müfste die Veränderung jener Entfernung viel bedeutender sein, und wenn eine solche Verlängerung der einzige Grund der Accommodation wäre, bis zu 3 Millimeter betragen, was demnach, wie auch diese Versuche von BAHR zeigen, nicht der Fall sein kann.

Auch an frischen Augen getödteter Thiere läfst sich Zusammenziehung des Ciliarmuskels durch elektrische Reizung der vorderen Hälfte des Augapfels hervorbringen, wie schon CRAMER gefunden hat, dem es auch bei Tauben, wo der Muskel quergestreifte, sich schnell bewegende Fasern hat, gelang, die Änderung der Form der vorderen Linsenfläche zu beobachten. Später haben V. HENSEN und C. VOELCKERS[1] durch Reizung der Ciliarnerven bei Hunden Contractionen des Muskels hervorgebracht. Sie konnten constatiren, dafs, wenn die Hornhaut bis auf einen 2 mm breiten peripheren Saum abgetragen war, dieser Saum bei Reizung des Muskels nach innen gezogen wurde; die Hornhaut also wirklich den vorderen Ansatzpunkt des Muskels bildete. Ein Stückchen der Hornhaut, welches mit dem Muskel nur noch durch das *Lig. pectinatum* in Verbindung stand, wurde bei der Contraction des Muskels an diesen herangezogen.

Durch ein Fenster der Sclera konnte die bei der Reizung eintretende Verschiebung der Aderhaut nach vorn beobachtet werden.

Eine sehr feine Nadel durch die Sclera und Aderhaut eingestofsen bewegt sich bei Reizung der Ciliarnerven mit ihrem äufseren Ende nach hinten, was ebenfalls das Vorrücken der Aderhaut bei Spannung des Muskels anzeigt. Am Äquator des Auges schätzen die genannten Beobachter die Verschiebung auf $^1/_2$ mm. Auf den Ciliarmuskel eingestofsen, bewegt sich die Nadel nicht.

Die vordere Fläche der Linse wölbt sich beim Hunde bei Tetanisirung des *Ganglion ciliare* stärker vor, auch wenn vorher die Iris theilweis weggenommen war. Die hintere Fläche verschob sich ein wenig nach hinten, was theils durch eine mit einem Deckgläschen geschlossene Öffnung in der Sclerotica beobachtet, theils durch ein Fühlhebelchen constatirt wurde. Zusammenziehung der Querdurchmesser der Linse war nicht sicher zu beobachten. Dagegen gelang es beiden Beobachtern, das Erschlaffen der Zonula bei Spannung des Ciliarmuskels mittels eines Fühlhebels zu beobachten.

War die Hornhaut bis auf einen Randstreifen von 1 mm Breite weggenommen, so war die Vorwölbung der Linse bei Reizung noch vorhanden,

[1] V. HENSEN u. C. VOELKERS, *Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Accommodation*. Kiel, 1868.

wenn auch vermindert, ebenso wenn auch noch die Iris weggenommen wurde. Nach Entfernung auch der Linse wölbt sich der Glaskörper convexer vor. Läfst man jetzt den Accommodationsapparat spielen, so sieht man, wie die tellerförmige Grube sich stark vorwölbt, und beim Aufhören der Reizung schnell zurückgeht.

Ich gebe hier aufser der ersten von mir durchgeführten Berechnung eines schematischen Auges in zwei verschiedenen Accommodationszuständen[1] noch eine neuere Berechnung, welche gewonnen ist unter Anwendung von Mittelwerthen, wie sie durch die ophthalmometrischen Messungen bisher gefunden sind. Als Krümmungsradius der Hornhaut ist das Mittel von DONDERS Beobachtungen an normalsichtigen Männern und Frauen genommen.[2] Als Ort verschiedener Punkte und Flächen ist immer ihre Entfernung vom Hornhautscheitel angegeben, und zwar nach hinten positiv gerechnet, nach vorn negativ. Die Längen sind in Millimeter angegeben.

	Alte Berechnung Accommodation für		Neue Berechnung Accommodation für	
	Ferne	Nähe	Ferne	Nähe
Angenommen.				
Brechungsvermögen des Kammerwassers und Glaskörpers	$\frac{103}{77}$	$\frac{103}{77}$	1.3365	1.3365
Totales Brechungsvermögen der Krystallinse	$\frac{16}{11}$	$\frac{16}{11}$	1.4371	1.4371
Krümmungsradius der Hornhaut	8.0	8.0	7.829	7.829
Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche	10.0	6.0	10.0	6.0
Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche	6.0	5.5	6.0	5.5
Ort der vorderen Linsenfläche	3.6	3.2	3.6	3.2
Ort der hinteren Linsenfläche	7.2	7.2	7.2	7.2
Berechnet.				
Vordere Brennweite der Hornhaut	23.692	23.692	23.266	23.266
Hintere desgl.	31.692	31.692	31.095	31 095
Brennweite der Linse	43.707	33.785	50.617	39.073
Abstand des vorderen Hauptpunktes der Linse von ihrer Vorderfläche	2.1073	1.9745	2.126	1.989
Abstand des hinteren von der hinteren Fläche	— 1.2644	— 1.8100	— 1.276	— 1.823
Abstand der beiden Hauptpunkte der Linse von einander	0.2283	0.2155	0.198	0.187
Hintere Brennweite des Auges	19.875	17.756	20.713	18.689
Vordere desgl.	14.858	13.274	15.498	13.990
Ort des ersten Hauptpunkts	1.9403	2.0330	1.753	1.858
Ort des zweiten Hauptpunkts	2.3563	2.4919	2.106	2.257
Ort des ersten Knotenpunkts	6.957	6.515	6.968	6.566
Ort des zweiten Knotenpunkts	7.373	6.974	7.321	6 965
Ort des vorderen Brennpunkts	—12.918	—11.241	—13.745	—12 132
Ort des hinteren Brennpunkts	22.231	20.248	22.819	20.955

[1] Erste Auflage dieses Buches, S. 111.

[2] Die Berechnung für das fernsichtige Auge ist wohl nach einem Collegienhefte schon in GRAEFE und SÄMISCH, *Handbuch der Ophthalmologie*, VI., S. 280 unter HELMHOLTZ II von Herrn NAGEL mitgetheilt. Ein kleiner Rechnungsfehler ist hier verbessert.

Nimmt man an, dafs bei der Accommodation für die Ferne dieses sche- 112
ıatische Auge in unendliche Ferne blicken könne, so würde die Netzhaut ach der neuen Berechnung in der Axe des Auges 22,819 mm von der orderen Hornhautfläche entfernt sein, und bei dem anderen berechneten .ccommodationszustande ein Gegenstand deutlich gesehen werden, welcher 40,33 mm vor dem vorderen Brennpunkte, oder 152,46 mm vor der Hornaut liegt. Es würde dies der Accommodationsbreite eines normalen Auges ut entsprechen.

Veränderungen der Hornhautkrümmung wollten einige ältere Beobachter[1] bei ngenaueren Untersuchungsmethoden gefunden haben. Neuere genauere Messungen ieser Krümmung mit Hülfe der reflectirten Bilder haben ergeben, dafs sie ganz nverändert bleibt. Solche sind von SENFF[2], CRAMER[3] und mir selbst angestellt erden. Das Ophthalmometer läfst eine sehr genaue Ausführung dieser Versuche ı, wobei Änderungen des Radius um 1/200 seiner Gröfse wahrzunehmen sein ürden, während ein Wechsel der Sehweite zwischen 5 Zoll und unendlicher Entrnung einen Wechsel des Krümmungshalbmessers von 6,8 auf 8 mm erfordern ürde, wenn eine solche Veränderung die Accommodation bewirken sollte. Ich abe aber durchaus negative Resultate erhalten. Zu erwähnen ist hier noch n sehr sinnreicher Versuch von TH. YOUNG, welcher dasselbe beweist. Er behreibt ihn folgendermaafsen: „Ich nehme aus einem kleinen botanischen Mikroskope ne biconvexe Linse von 8/10 Zoll Radius und Brennweite, befestigt in einer eckenförmigen Fassung von 1/5 Zoll Tiefe, und mache ihre Kante mit Wachs asserdicht. Ich tröpfle ein wenig mäfsig kaltes Wasser hinein, bis es zu drei ierteln damit angefüllt ist, und bringe es dann an das Auge, so dafs die Hornaut in das Becken hineinragt und überall mit dem Wasser in Berührung ist. [ein Auge wird dadurch sogleich weitsichtig, und das Brechungsvermögen der Glasnse, welches durch das Wasser auf etwa 1,6 Zoll Brennweite zurückgeführt ist, t nicht hinreichend, die Stelle der Hornhaut zu vertreten, welche durch das Vasser unwirksam geworden ist; aber die Hinzufügung einer anderen Linse von 1/2 Zoll Brennweite bringt mein Auge zu seinem natürlichen Zustande zurück, ıd noch etwas darüber hinaus. Ich wende dann das Optometer an, und finde .eselbe Ungleichheit in der horizontalen und verticalen Brechung wie ohne Wasser, ıd ich habe in beiden Richtungen eine Accommodationsfähigkeit bis zu einer ehweite von 4 Zollen wie vorher. Im ersten Augenblicke erschien mir die ccommodation allerdings etwas geringer und nur im Stande, das Auge von dem r parallele Strahlen geeigneten Zustande zu einer Sehweite von 5 Zoll zu bringen, ıd dies liefs mich glauben, dafs die Hornhaut eine kleine Wirkung im natürlichen ıstande haben könnte; indem ich aber überlegte, dafs die künstliche Hornhaut ıgefähr 1/10 Zoll vor der Stelle der natürlichen sich befand, berechnete ich die olgen dieses Unterschiedes und fand ihn genau ausreichend, um die Verringerung es Spielraums der Sehweite erklären."

Um wie viel sich beim Nahesehen der Pupillarrand der Iris nach orn verschiebt, läfst sich wenigstens annähernd bestimmen, nachdem man die imensionen und Krümmung der Hornhaut und die Entfernung der Pupillenfläche von

[1] J. P. LOBÉ, *Diss. de oculo humano.* Lugd. Batav. 1742. p. 119. — HOME, *Philos. Transact.* 1796. p. 1.
[2] Artikel „Sehen" in R. WAGNER, *Handwörterbuch der Physiologie.*
[3] A. CRAMER, *Het Accommodatievermogen der Oogen.* Harlem 1853. p. 45

der Hornhaut bestimmt hat. Es sei *C Fig. 73* die Hornhaut, *c* und *d* ihr äufserer Rand, *a b* die Pupille beim Fernsehen. Hat sich nun der Beobachter gegen dieses Auge so
113 gestellt, dafs ihm die ganze Pupille gerade verdeckt wird, so mufs *c b* die Gesichtslinie des Beobachters in der wässrigen Feuchtigkeit sein. Wird nun beim Nahesehen die ganze Pupille vor dem Rande der Sclerotica eben sichtbar, und kennt man ihre Breite $\alpha \beta$, so mufs sie ganz vor der Linie *c b* liegen, und doch an diese anstofsen, so wie in *Fig. 65* angegeben ist, und dadurch findet man wenigstens angenähert die Gröfse ihrer Verschiebung. Diese betrug unter den von mir untersuchten Augen bei dem Auge *O. H.* 0,36 mm, bei dem Auge *B. P.* 0,44 mm. Tritt die Pupille beim Nahesehen nicht ganz vor, sondern nur die Hälfte, zwei Drittel u. s. w. derselben, so mufs man die Gröfse des hervortretenden Theils schätzen und danach die Berechnung anstellen.

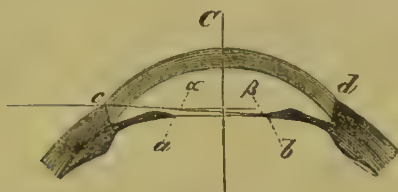


Fig. 73.

n Da die vordere Fläche der Linse eine, wenn auch kleine, Quantität des einfallenden Lichtes reflectirt — das gröfsere der bekannten SANSON'schen Bildchen — so kann diese Spiegelung, wie bei der Hornhaut, zur Bestimmung des Krümmungshalbmessers der vorderen Linsenfläche gebraucht werden. Indessen mufs eine andere Methode eingeschlagen werden, und läfst sich auch nicht eine gleiche Genauigkeit erreichen, wie bei den Messungen der Hornhaut, weil der Reflex kein recht scharfes Bild formt, und wenigstens, wenn er von Lampenlicht herrührt, zu schwach ist, um im Ophthalmometer in deutlich sichtbare Doppelbilder zerlegt werden zu können. Jedes der Doppelbilder hat natürlich nur die halbe Lichtstärke des einfachen Bildes.

Es schien mir daher am besten, die Gröfse des Bildchens der vorderen Linsenfläche mit einem dicht daneben stehenden Hornhautbildchen zu vergleichen, dessen Gröfse leicht berechnet oder gemessen werden kann. Ich mufste defshalb zwei gespiegelte Objecte haben, das eine von veränderlicher Gröfse, um das Hornhautbild des einen gleich dem ersten SANSON'schen Bilde des andern machen zu können.

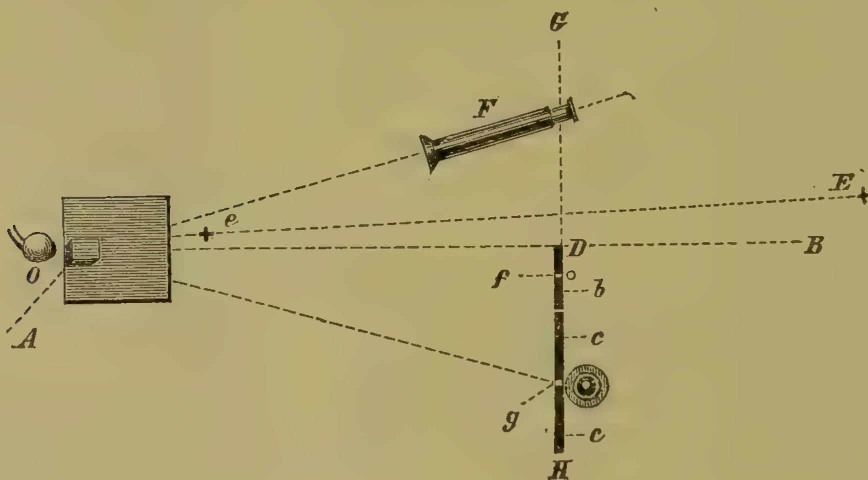


Fig. 74.

Die Anordnung des Apparates ist perspectivisch dargestellt *Fig. 75* und im Grundrifs in *Fig. 74*. *O* ist das beobachtete Auge, dicht vor ihm liegt ein kleines ebenes Metallspiegelchen *A* (ich benutzte ein OERTLING'sches Stahlspiegelchen) horizontal auf einer festen Unterlage. In einiger Entfernung ($1^1/_2$ Fufs) davor befinden sich zwei stellbare Schirme *b* und *cc* mit den Öffnungen *f* und *g*. Die Öffnung *f* ist eng (2 Linien im

uadrat), hinter ihr steht ein kleines Wachslichtchen. Die Öffnung g ist gröfser (9 Linien n Quadrat), hinter ihr befindet sich eine recht helle und grofse Lampenflamme. Das uge O stellt sich nun so, dafs es gleichzeitig über den Spiegel A hinweg die beiden :leuchteten Öffnungen sieht, als auch im Spiegel ihre Spiegelbilder, welche scheinbar ei f_1 und g_1 liegen. Die Öffnung f und ihr Spiegelbild f_1 bilden nun das Object für ie Hornhautspiegelung, die Öffnung g und ihr Spiegelbild g_1 das Object für die Linsenbiegelung. Um die Schirme richtig zu stellen, werden auf dem Tische erst, wie der rundrifs zeigt, die Linien OB und senkrecht dazu GH gezogen. Letztere fällt mit er Ebene beider Schirme zusammen. Dem beobachteten Auge O wird ein Fixationsunkt E neben dem Ständer des Schirms b vorbei in der Ferne angewiesen. Der Bebachter hat sein Auge, entweder unbewaffnet oder mit einem schwach vergröfsernden, ber lichtstarken Fernrohre F, versehen über der Linie OF, welche mit OB einen Vinkel bildet, der gleich dem Winkel gOB ist. Das Gesichtszeichen E wird nun so estellt, dafs der Linsenreflex in der Mitte der Pupille erscheint, und das Hornhautildchen der kleineren Lichtpunkte dicht daneben. Dann wird der Schirm b so lange ehoben oder gesenkt, bis der Abstand der kleinen gespiegelten Lichtpunkte genau eben o grofs ist, wie der der Mittelpunkte der gröfseren.

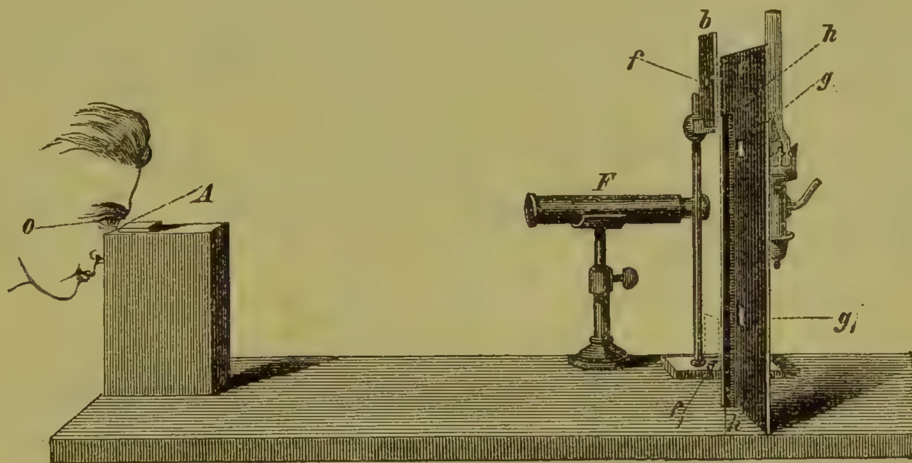


Fig. 75.

Die Spiegelung auf der Hornhaut wird durch eine einfache spiegelnde Fläche beirkt, deren negative Brennweite nach den bekannten Gesetzen der Katoptrik gleich dem ılben Krümmungsradius ist. Die vordere Linsenfläche ist aber in diesem Falle ein aus ner brechenden und einer spiegelnden Fläche zusammengesetztes spiegelndes System, ınlich einer convex-concaven gläsernen Sammellinse, deren concave Seite mit Spiegelfolie elegt ist. Die Brennweite q dieses spiegelnden Systems ist sowohl von der Krümmung er brechenden, als von der der spiegelnden Fläche und ihrem gegenseitigen Abstande hängig. Diese Brennweite q läfst sich aus dem beschriebenen Versuche bestimmen. ie Bilder, welche spiegelnde Systeme von weit entfernten Gegenständen entwerfen, veralten sich nämlich direct wie die Brennweiten der Systeme, wenn also zwei verschiedene ysteme von ungleichen gleich weit entfernten Gegenständen gleiche Bilder entwerfen, ufs sich ihre Brennweite umgekehrt, wie die Gegenstände verhalten. Es verhält sich so

$$q : {}^1\!/_2 R = ff_1 : gg_1 .$$

Um den scheinbaren Abstand der Öffnung g von ihrem Spiegelbilde g_1 zu finden, ellt man neben sie einen senkrechten Mafsstab hh (Fig. 75). Das Spiegelbild g_1 liegt en so tief unter der verlängerten Ebene des Spiegels A, als g selbst darüber. Um ın den Ort zu finden, wo die Spiegelebene den Mafsstab schneidet, braucht man nur hr flach über das Spiegelchen hinweg nach dem Mafsstabe hin zu visiren. Man sieht ınn an der Grenzlinie direct gesehene und gespiegelte Theilstriche sich decken. Die

Mitte zwischen zwei solchen sich deckenden Theilstrichen ist der Punkt des Maſsstabes, der in die Verlängerung der Spiegelebene fällt. Dessen Abstand von der Mitte der Öffnung g doppelt genommen ist gleich dem Abstande gg_1. Ebenso findet man ff_1.

Es ergaben sich in drei verschiedenen Reihen von Versuchen folgende Werthe für das Verhältniſs $\frac{R}{2q}$:

	O. H.	B. P.	I. H.
$\frac{R}{2q} =$	0,308	0,635	0,544
	0,313	0,618	0,544
	0,346	0,571	0,478
Mittel	0,322	0,608	0,522
$q =$	11,39 mm	6,288 mm	7,810 mm

Endlich ist aus q noch der Radius r der vorderen Linsenfläche zu berechnen. Die Herleitung der Formel, welche die Brennweite eines zusammengesetzten brechenden und spiegelnden Systems giebt, ist weitläuftig aber ohne Schwierigkeiten. Ich gebe daher hier nur ihr Resultat, und zwar gleich für einen etwas allgemeineren Fall. Vor der spiegelnden Fläche vom Radius r (Radien concaver Flächen als positiv, convexer als negativ betrachtet) stehe ein System brechender Kugelflächen, deren erste Brennweite (in Luft) f_1, die zweite Brennweite (im letzten brechenden Medium) f_2 ist. Der Abstand der spiegelnden Fläche vom zweiten Hauptpunkte des brechenden Systems sei d, so ist

$$q = \frac{f_1 \cdot f_2 \cdot r}{2\,(f_2 - d) \cdot (f_2 - d + r)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Die Haupt- und Knotenpunkte des Systems fallen in einen Punkt zusammen, und dieser ist das von dem Systeme entworfene Bild des Scheitels der brechenden Fläche. Aus dem Werthe von q findet sich:

$$r = \frac{q \cdot (f_2 - d)^2}{1/2\, f_1 \cdot f_2 - q \cdot (f_2 - d)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1a)$$

Die beiden Gröſsen f_1 und f_2 sind oben für die Hornhäute der untersuchten Augen berechnet worden. Für die Gröſse d können wir hier ohne Nachtheil den Abstand zwischen der Pupillarfläche und der Mitte der Hornhaut setzen. Es ergiebt sich der Krümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche

für das Auge O. H. gleich 11,9 mm
- - - B. P. - 8,8 -
- - - I. H. - 10,4 -

Bei zwei todten Linsen fand ich mit dem Ophthalmometer den Krümmungsradius der vorderen Fläche gleich 10,2 und 8,9 mm, was mit den Messungen an den lebenden Augen gut stimmt.

Mittels des Apparates, *Fig. 73* und *74*, kann nun auch leicht die Gröſsenveränderung des Bildes der vorderen Linsenfläche gemessen werden, indem man die Beobachtung ganz ebenso ausführt, wie dort beschrieben ist, und nur die Augen für das nähere Gesichtszeichen accommodiren läſst. Ich fand unter diesen Umständen die Brennweite q des aus der Hornhaut und vorderen Linsenfläche zusammengesetzten spiegelnden Systems und den Krümmungsradius r der vorderen Linsenfläche, wie folgt:

113

Auge.	Krümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche fernsehend.	nahsehend.	Verschiebung der Pupille bei Accommodation für die Nähe.
O. H.	11,9	8,6	0,36
B. P.	8,8	5,9	0,44
J. H.	10,4		

Um den Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche nach den obigen Gleichungen 114
erechnen zu können, mufs man den Krümmungsradius der Hornhaut und die Entfernung ler vorderen Linsenfläche (Pupille) von der Hornhaut kennen. Beide Gröfsen waren an en angeführten Augen schon vorher gemessen.

Das Spiegelbild, welches die **hintere Linsenfläche** von fernen Gegenständen entrirft, verändert seine Gröfse ebenfalls bei geänderter Accommodation des Auges, aber in sehr nbedeutendem Grade. Ich beobachtete diese Veränderung durch das Ophthalmometer, ıdem ich zwei Flammen senkrecht über einander seitlich vom Auge hinter den Öffnungen ines Schirms aufstellte und deren von der hinteren Linsenfläche gespiegelte Bilder beobachtete. Ich stellte die Doppelbilder der beiden ichter, so wie *Fig. 76* zeigt, neben einander. Hier sind a_0 und a_1 die oppelbilder des unteren, b_0 und b_1 die des oberen Lichts. Die inander genäherten Bilder a_1 und b_0 deckten sich nicht, sondern stanen dicht neben einander, so dafs ich sie gesondert erkennen konnte. ei der Accommodation für die Nähe verschob sich b_0 etwas in der ichtung nach a_0 und a_1 in der Richtung nach b_1 hin. Ich schätzte die reite der Verschiebung etwa gleich der Hälfte der Breite eines jeden chten Flecks, und da die Entfernung der Mittelpunkte der Öffnungen, urch welche das Licht fiel, gleich der sechsfachen Breite der Öffnungen war, so war ie Verkleinerung des Bildes etwa $^1/_{12}$ seiner Gröfse. Andere Beobachter haben zum heil etwas gröfsere Änderungen gefunden (s. S. 147).

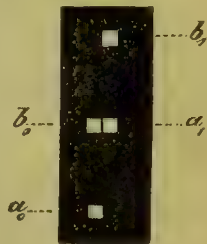


Fig. 76.

Endlich suchte ich noch zu ermitteln, ob die hintere Linsenfläche sich bei der ccommodation für die Nähe in der Richtung von hinten nach vorn verschöbe. Ich verfuhr abei in derselben Weise, wie ich die scheinbare Entfernung der hinteren Linsenfläche on der Hornhaut bestimmt hatte. Bei derselben Anordnung des Apparates untersuchte h, ob der Lichtreflex der hinteren Linsenfläche bei veränderter Accommodation und unvernderter Richtung der Augenaxe seinen Platz änderte, wobei abwechselnd das Fernrohr echts und das Licht links, dann wieder das Fernrohr links und das Licht rechts stand. ndessen habe ich keine Ortsveränderung dieses Bildchens bemerken können. Die scheinare Entfernung der hinteren Linsenfläche von der Hornhaut wird also bei den Accomıodationsänderungen nicht merklich verändert.

Was dürfen wir nun aus diesen Veränderungen des Spiegelbildchens und des heinbaren Ortes der hinteren Linsenfläche auf die wirklichen Veränderungen derselben ir Schlüsse ziehen? Der scheinbare Ort dieser Fläche wird durch die Brechung in der inse überhaupt sehr wenig geändert, da sie dem hinteren Knotenpunkte der Linse emlich nahe liegt, und wir können daraus schliefsen, dafs auch die Unterschiede ihrer erschiebung durch die Brechung bei verschiedenen Accommodationszuständen des uges jedenfalls so klein sein werden, dafs wir sie vernachlässigen können. So wird B. in dem neueren schematischen Auge, dessen optische Constanten wir in diesem Paagraphen als Beispiel berechnet haben, beim Fernsehen die hintere Linsenfläche heinbar um 0,166 mm, beim Nahesehen um 0,102 mm nach vorn verschoben; sie würde so, während sie in Wirklichkeit an ihrer Stelle bleibt, sobald das Auge sich ir die Nähe accommodirt, scheinbar um 0,064 mm nach hinten rücken. Dies ist ber zu wenig, um wahrgenommen zu werden. Übrigens kann diese Rechnung eben nur azu dienen zu zeigen, dafs die Verschiebungen und ihre Unterschiede überhaupt klein nd, keineswegs um den Sinn dieses Unterschiedes in der wirklichen Krystallinse zu eigen, weil hierbei wesentlich die Entfernung der Hauptpunkte der Linse von einander n Betracht kommt, welche in der Krystallinse jedenfalls geringer ist als in den schemaschen homogenen Linsen.

Wir können also nur sagen, dafs **der wahre Ort der hinteren Linsenfläche** ei den Accommodationsänderungen nicht merklich geändert werde.

Um zu ermitteln, wie das von der hinteren Linsenfläche entworfene Spiegelbild ch bei Änderungen der Augenmedien verändere, denken wir uns die spiegelnde Fläche urch eine unendlich dünne Schicht Glaskörper von der letzten brechenden Fläche des

Auges getrennt. Dann können wir für die Cardinalpunkte des brechenden Systems die Cardinalpunkte des Auges nehmen. Es sei n das Brechungsverhältniſs des Glaskörpers; ferner nennen wir p die Entfernung des hinteren Brennpunktes des Auges von der hinteren Linsenfläche nach hinten gerechnet, ε die des zweiten Knotenpunktes des Auges
115 von derselben Fläche nach vorn gerechnet. In der Gleichung 1), welche die Brennweite eines zusammengesetzten brechenden und spiegelnden Systems giebt, haben wir zu setzen

$$f_1 = p + \varepsilon$$
$$f_2 = n.(p + \varepsilon)$$
$$f_2 - d = p.$$

Dann wird der Werth der Brennweite des brechenden und spiegelnden Systems:

$$q = \frac{n.r}{2} \cdot \frac{(p + \varepsilon)^2}{p.(p + r)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Bei der Accommodation für die Nähe wird ε jedenfalls gröſser, weil bei der Gestaltveränderung der Linse die Knotenpunkte des Auges vorrücken müssen; dadurch würde auch, wenn sich r und p gar nicht veränderten, der Werth von q und die Gröſse des Spiegelbildes zunehmen müssen. Dagegen wird p bei der Accommodation für die Nähe kleiner und dadurch kann der Werth von q auch kleiner werden, unter den Verhältnissen dieser Gröſsen im Auge. Differentiirt man q nach p, so erhält man

$$\frac{dq}{dp} = \frac{n.r}{2} \cdot \frac{p + \varepsilon}{p^2.(p + r)^2} \cdot [p.r - (2p + r).\varepsilon].$$

Von den Factoren dieses Ausdrucks kann nur der letzte, in der eckigen Klammer eingeschlossene negativ werden, wird es aber wohl im normalen Auge nicht, da ε gegen p und r sehr klein ist. Es wird $\frac{dq}{dp}$ positiv sein, d. h. q wird mit p zugleich gröſser und kleiner werden. Es würde also bei der Accommodation für die Nähe, wobei p kleiner wird, wenn wir vorläufig von der Veränderung von ε absehen und r constant setzen, auch q und das Spiegelbild der hinteren Linsenfläche kleiner werden können, und man könnte vermuthen, die beobachtete Verkleinerung dieses Bildes sei dadurch hervorgebracht. Die Rechnung nach der Gleichung 2) indessen ergiebt das Gegentheil. Nehmen wir aus LISTING's schematischem Auge die Werthe $p = 14{,}647$, $\varepsilon = 0{,}3601$, $r = 6$, so würde p auf 10,597 verkleinert werden müssen, um q um $^1/_{12}$ seines Werthes zu verringern. Der hintere Brennpunkt des Auges müſste also 4 mm vor die Netzhaut rücken, was jedenfalls schon die mögliche Veränderung der Lage dieses Punktes überschreitet. Aber da ein Theil der hierdurch bewirkten Verkleinerung des Bildes durch das Vorrücken der Knotenpunkte (d. h. Vergröſserung von ε) wieder aufgehoben werden würde, wie vorher auseinandergesetzt ist, so können wir nicht zweifeln, daſs die Verkleinerung des Bildchens auf der hinteren Linsenfläche ohne eine, wenn auch geringe Vermehrung der Krümmung dieser Fläche nicht die beobachtete Gröſse haben könne.

Berechnet man die Brennweiten q für das neuere schematische Auge dieses Paragraphen, so findet man für das fernsehende 2,850, für das nahesehende 2,715, welche Gröſsen nur um $^1/_{21}$ ihres Werthes unterschieden sind, während die dazu gehörigen Krümmungsradien (6 und 5,5 mm) um $^1/_{12}$ differiren. Hier verdeckt also die Änderung der brechenden Mittel die des Krümmungsradius zum Theil, und läſst sie kleiner erscheinen, als sie wirklich ist. Wir schlieſsen daraus, daſs die hintere Fläche der Linse bei der Accommodation für die Nähe sich stärker wölbt.

831 KNAPP[1] hat an vier individuellen Augen die Lage des Fernpunkts und Nahepunkts, die Krümmung und Lage der Hornhaut und der Linsenflächen beim Sehen für die Ferne, wie bei der Accommodation für die Nähe bestimmt und gefunden, daſs die aus den Krümmungsänderungen der Krystallinse berechnete Accommodation hinreichend gut mit

---

[1] H. KNAPP, *Graefe's Archiv für Ophthalmologie*. VI. (2) S. 1. 1860.

der wirklich stattfindenden Accommodationsbreite übereinstimmte, so daſs die Annahme einer Verlängerung des Auges hierdurch ausgeschlossen war.

Ähnliche Bestimmungen sind ferner gemacht worden von Adamück und Woinow[2] von Mandelstamm und Schöler[3], von Reich[4] und endlich von Woinow[5].

Ich gebe hier die von diesen Beobachtern gemessenen Werthe sowohl beim Sehen für die Ferne, wie bei der Accommodation für die Nähe, und füge, des Vergleichs halber, die schon oben angegebenen Resultate meiner eigenen Bestimmungen hinzu.

		Krümmungsradius der Hornhaut	Abstand der vorderen Fläche der Krystallinse von dem Hornhautscheitel		Abstand der hinteren Fläche der Krystallinse von dem Hornhautscheitel		Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche		Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche	
			für den Fernpunkt	für den Nahepunkt	für den Fernpunkt	für den Nahepunkt	für den Fernpunkt	für den Nahepunkt	für den Fernpunkt	für den Nahepunkt
Helmholtz	I	7.338	4.024	3.664	7.172	7.172	11.9	8.6	5.83	
	II	7.646	3.597	3.157	7.232	7.232	8.8	5.9	5.13	
	III	8.154	3.739	—	7.141	7.141	10.4	—	5.37	
Knapp	IV	7.7705	3.5924	3.0343	7.5127	7.5127	8.2972	5.3213	5.3546	4.6585
	V	8.0303	3.6073	3.0533	7.4568	7.4568	7.9459	4.8865	5.4867	4.9536
	VI	7.1653	3.3774	2.7295	7.1534	7.1534	7.8600	4.8076	6.9012	5.6098
	VII	7.2053	3.4786	2.8432	7.1011	7.1011	9.0641	5.0296	6.4988	5.0855
Adamück und Woinow	VIII	7.2303	3.9981	3.29523	7.200	7.200	9.77751	8.21771	6.06353	4.6941
	IX	7.15568	3.23731	2.98985	7.200	7.200	10.2021	8.5975	6.2156	5.0001
	X	6.85224	2.8997	2.4876	6.8435	6.8247	9.1139	7.3104	7.6008	6.3792
	XI	7.17369	3.6332	3.07682	7.200	7.200	10.543	8.80103	6.5331	5.6293
Mandelstamm und Schöler	XII	7.3408	3.7097	3.4606	7.5780	7.9048	10.5409	6.4881	6.4088	5.0494
	XIII	7.785	3.539	2.954	7.1218	6.803	10.159	6.496	6.331	5.664
Reich	XIV	7.201	3.654	3.3924	7.6474	7.7817	10.408	5.9358	6.5875	4.9872
	XV	7.4544	3.708	3.3234	7.4164	7.4879	10.5650	7.3822	5.5373	4.5825
	XVI	7.7939	3.6516	3.2626	7.4332	7.5861	11.197	8.2045	6.2229	5.1976
Woinow	XVII	8.00747	3.6175	3.0028	7.200	7.200	9.3785	5.2304	6.2480	4.9714

Für den **Mechanismus der Accommodation** ist es wichtig, den Ursprung der Iris genau zu kennen. Ich habe den *Canalis Schlemmii* mit Umgebung, wie er sich auf feinen Querschnitten der Augenhöhle darstellt, in *Fig. 2* (S. 7) abgebildet. *A* ist der Querschnitt des Kanals, der wohl auch im lebenden fernsehenden Auge eine längliche Spalte bildet, *C* die Cornea, *S* die Sclerotica, *D* die Bindehaut, *B* die Aderhaut, *E* ein Ciliarfortsatz, *J* die Iris. Die innere Wand des Kanals ist aus verschiedenen Geweben zusammengesetzt. Der hinterste Theil dieser Wand bei *a* besteht ganz deutlich aus demselben Gewebe eng durchflochtener Sehnenfasern wie die Sclerotica, von der er ausgeht. Der vordere Theil besteht dagegen aus einem anderen Gewebe, welches undurchsichtiger ist als das Sehnengewebe, stärker sich abzeichnende, gegen Essigsäure und Kali sehr *115*

[1] E. Adamück u. M. Woinow, *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie.* XVI. (1) S. 144. 1870.
[2] L. Mandelstamm u. H. Schöler, *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* XVIII. (1) S. 155. 1872.
[3] M. Reich, *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* XX. (1) S. 207. 1874.
[4] M. Woinow, *Ophthalmometrie.* Wien. 1871. S. 119.

resistente Fasern enthält, und daher wohl für elastisches Gewebe zu halten ist. Nach
116 vorn schiebt es sich zwischen *Membrana Descemetii* und die Knorpelsubstanz der Hornhaut ein, nach hinten heftet es sich theils an den hinteren sehnigen Theil der Wand, theils verbindet es sich mit den Faserzügen des Spannmuskels der Aderhaut. Das System der Aderhaut hängt nur mit der hinteren Hälfte der inneren Wand des Schlemmschen Kanals fest zusammen, wo der sehnige und elastische Theil sich verbinden. Doch entspringt auch von dem vorderen Theile der Kanalwand ein lockeres Netzwerk von Fasern, die die Charaktere der elastischen an sich tragen, welche sich an den Anfang der Iris anheften. Die Fasermassen, welche dem Spannmuskel und der Iris angehören, sieht man zum Theil von der Wand des Kanals entspringen, zum Theil mögen sie aber auch direct von der Aderhaut auf die Iris übergehen. In dem Gewebe der Ciliarfortsätze sieht man eine grofse Zahl weiter Lumina durchschnittener Blutgefäfse, auf ihrem dem Glaskörper zugekehrten Rande die Lage des schwarzen Pigments.

Um sich von der Richtigkeit der hier gegebenen Darstellung des Ansatzes der Iris zu überzeugen, mufs man einerseits feine Schnitte von getrockneten Augenhäuten untersuchen, dabei aber beachten, dafs das Trocknen sehr starke Verzerrungen hervorbringen kann, und dafs die elastischen Fasern vor dem Ansatze der Iris sehr leicht reifsen oder brechen, wenn man die Iris von der Hornhaut abzieht. Andererseits mufs man frische Präparate untersuchen, wobei man am besten eine Borste in den Schlemmschen Kanal einführt, ebenfalls aber sehr sorgfältig jedes Ziehen an der Iris oder Chorioidea vermeiden mufs, denn dadurch kann man der Muskelmasse, durch welche diese Theile befestigt sind, jede beliebige Gestalt geben. Hebt man die Iris leise auf, und legt sie auf die Ciliarfortsätze zurück, so bemerkt man die feinen elastischen Fäden, welche sich zum vorderen Rande des Kanals hinüberspannen. Zieht man dann die Borste nach vorn, so erkennt man leicht die elastische Dehnbarkeit des vorderen Theils der Kanalwand. Schlägt man dagegen Iris und Chorioidea nach vorn über, und zieht die Borste nach hinten an, so zeigt sich der hintere Theil der Wand als unausdehnbar.

Die beschriebene Art des Ansatzes scheint mir für das Zurückweichen der Seitentheile der Iris beim Nahesehen wichtig zu sein. Ist die Iris nämlich erschlafft, so wird sie durch das Netzwerk der elastischen Fasern bei *b* bis zum vorderen Rande des Schlemmschen Kanals an dessen innerer Wand festgehalten. Spannen sich dagegen die circulären und radialen Fasern der Iris gleichzeitig, so bietet erst die Sehnenmasse am hinteren Rande des Kanals ihrem Zuge einen genügend festen Widerstand, und man kann daher sagen, die erschlaffte Iris setzt sich an den vorderen, die gespannte an den hinteren Rand des Schlemmschen Kanals, welche im Mittel 0,45 mm auseinanderliegen. In *Fig. 70*, S. 134, habe ich das verschiedene Verhalten des Ansatzes der Iris beim Fernsehen (Seite *F*) und Nahesehen (Seite *N* der Figur) darzustellen gesucht. Der Schlemmsche Kanal ist auf beiden Seiten mit *s* bezeichnet.

Ein anderer Theil des Auges, dessen Wirkungen bei der Accommodation noch in Betracht kommen könnten, sind die Ciliarfortsätze. L. Fick[1] hat nachgewiesen, dafs sie unter dem Einflusse des elektrischen Stromes sich zusammenziehen, und ihr Blut entleeren, welches durch ziemlich weite Gefäfsverbindungen leicht in die *Vasa vorticosa* der Aderhaut abfliefsen kann. Er nimmt an, dafs durch diesen Übergang des Blutes in dem Theile des Auges, welcher hinter der durch die Linse und Zonula gebildeten Scheidewand liegt, der hydrostatische Druck vermehrt, vorn vermindert werde. Dadurch werde die Mitte der Linse nach vorn gedrängt, ihre vordere Fläche wölbe sich deshalb mehr. Dagegen behauptet Fick folgerichtig, dafs die hintere Fläche dabei flacher werde, was den Beobachtungen nicht entspricht. Auch J. Czermak[2] hat in einem Versuche, den Mechanismus der Accommodation zu erklären, neben der von Cramer angenommenen Spannung der Iris und des Ciliarmuskels eine Anschwellung der Ciliarfortsätze zu Hülfe genommen, wodurch ein Druck auf den Rand der Linse ausgeübt werden könnte.

---

[1] L. Fick, *J. Müller's Archiv.* 1853. S. 449.

[2] J. Czermak, *Prager Vierteljahrsschr. für practische Heilkunde.* XLIII. S. 109.

Gegen die Ansicht, dafs die Augenmuskeln durch ihren Druck auf den Augapfel dessen Gestalt veränderten, ihn namentlich in Richtung der Augenaxe verlängerten, und dadurch die Netzhaut weiter von der Linse entfernten, eine Ansicht, die vor der Entdeckung der Formänderung der Linse viel gewichtige Freunde hatte, ist anzuführen, erstens, dafs, wie ich durch Messungen mit dem Ophthalmometer gefunden habe, jede 117
Steigerung des hydrostatischen Drucks im Auge die Hornhaut flacher macht, was man an lebenden Augen würde beobachten können, wenn es der Fall wäre, und zweitens, dafs bei einem geringen Drucke mit dem Finger auf den Augapfel durch den Augenspiegel beobachtet werden kann, wie die Gefäfse der Netzhaut enger werden, nur noch intermittirende Blutströme bei den Pulswellen hindurchlassen, endlich ganz collabiren. Sobald die intermittirende Bewegung (sichtbare Pulsation der Schlagadern) beginnt[1], verschwindet die Empfindlichkeit der Netzhaut, wahrscheinlich wegen ungenügender Blutzufuhr, und das Gesichtsfeld wird vollkommen schwarz.

Endlich sind noch die Versuche von Th. Young anzuführen, welche wohl kaum einen Zweifel darüber bestehen lassen können, dafs auch nicht die geringste Verlängerung der Augenaxe beim Nahesehen eintritt. Man kann die Fläche der Bindehaut des Auges zwischen den Augenlidern mit einem glatten, gut polirten Stücke Metall ohne erhebliche Beschwerde berühren. Man setze in den inneren Augenwinkel auf die Bindehaut einen glatten eisernen Ring (eines Schlüssels) auf, den man fest gegen den inneren Rand der Augenhöhle anstemmt, und wende das Auge nach der inneren Seite herüber, so dafs man durch den Ring und an dem Nasenrücken vorbei in die Ferne sieht. Dabei kommt der innere Umfang der Hornhaut ganz dicht an den Schlüssel zu liegen, und es wird somit verhindert, dafs der Augapfel bei der Accommodation sich nach vorn verschieben könne. Nun dränge man den Ring eines ganz kleinen Schlüssels am äufseren Augenwinkel zwischen den Augapfel und Knochen ein. Dabei wird durch den Druck auf den Augapfel die Netzhaut gereizt, und es erscheint im Gesichtsfelde scheinbar vor dem Nasenrücken ein dunkler, anfangs auch wohl heller Fleck, ein Druckbild. Dieses reichte bei Young bis auf die Stelle des deutlichsten Sehens, und er konnte erkennen, dafs gerade Linien im Bereiche dieses Druckbildes eine leichte Krümmung erhielten, welche von einer durch den Druck veranlafsten leichten Einbiegung der Sclerotica herzurühren schien. Da das Druckbild an der Stelle des deutlichsten Sehens entstand, mufste der kleine Schlüssel die Gegend des gelben Flecks an der Hinterseite des Augapfels treffen. Unter diesen Umständen kann eine Verlängerung der Augenaxe offenbar nicht eintreten, ohne die Schlüssel von ihrer Stelle zu drängen. Wäre also die Accommodation mit einer Verlängerung der Augenaxe verbunden, so müfste sie unter diesen Umständen entweder ganz unmöglich sein, oder es müfsten die Schlüssel verdrängt werden, und es müfste dabei das Druckbild wegen stärkerer Einbiegung der Hinterwand des Augapfels an Umfang aufserordentlich zunehmen. Nichts von allem diesem ist der Fall. Das Auge kann vollständig so gut wie sonst accommodirt werden, und das Druckbild bleibt bei veränderter Accommodation ganz dasselbe.

Th. Young scheint etwas hervorstehende Augen gehabt zu haben, wie auch aus anderen Versuchen, welche er beschreibt, hervorgeht. In meinem eigenen Auge reicht nur der eine Rand des Druckbildes bis zur Stelle des deutlichsten Sehens; übrigens konnte auch ich mich vollständig von der Möglichkeit der Accommodation und der Unveränderlichkeit des Druckbildes überzeugen.

Aus diesem Versuche folgt zunächst unmittelbar, dafs die Entfernung des inneren Umfangs der Hornhaut von dem gelben Flecke oder einem Punkte der Hinterwand etwas nach aufsen vom gelben Flecke vollständig unveränderlich sei. Es würde aber die Entfernung der Hornhaut von dem gelben Flecke ohne auffallende Asymmetrie des Auges sich nicht verändern können, wenn nicht die genannte Entfernung ihres Randes sich ebenfalls änderte.

---

[1] F. C. Donders, *Nederl. Lancet.* 1854. Nov. S. 275.

Forbes meinte, dafs bei der Accommodation für die Nähe das innere Auge unter einen stärkeren Druck gesetzt werde, und die Linse, weil sie wegen der verschiedenen Form und Dichtigkeit ihrer Schichten nach verschiedenen Richtungen hin verschieden elastisch sei, ihre Form ändere. De Haldat hat dagegen keine Veränderung der Brennweite des brechenden Apparates des Auges und einzelner Linsen finden können, welche er im Wasser comprimirte[1].

Über keinen anderen Gegenstand der physiologischen Optik sind so viel widersprechende Ansichten aufgestellt worden, als über die Accommodation des Auges, weil
118 erst in neuerer Zeit entscheidende Beobachtungsthatsachen gefunden wurden, und man bis dahin fast nur einem Spiel von Hypothesen überlassen gewesen war. Um die Übersicht zu erleichtern, werde ich die chronologische Ordnung verlassen, welche überdies in der späteren Zusammenstellung der Literatur beibehalten werden wird, und werde die verschiedenen Ansichten vielmehr nach ihren wesentlichen Zügen zusammengruppiren.

1) Ansichten, welche die Nothwendigkeit und das Vorhandensein einer Änderung des brechenden Apparates ganz leugnen. Mehrere Naturforscher glaubten, dafs das thierische und menschliche Auge die Fähigkeit habe, abweichend von den künstlich gefertigten Linsen die Bilder verschieden entfernter Gegenstände an gleichem oder wenigstens unmerkbar verschiedenem Orte zu entwerfen. Magendie[2] behauptete sich davon an den Augen von weifsen Kaninchen überzeugt zu haben, bei denen das Pigment der Aderhaut fehlt, und daher das Bild durch den hinteren Theil der Sehnenhaut gesehen werden kann. In der That kann aber das Bild nicht scharf genug durch die Sehnenhaut gesehen werden, um die geringen Unterschiede, welche bei der Accommodation in Betracht kommen, zu bemerken. Dasselbe wie Magendie behaupteten Ritter[3] und Haldat[4]. Für die Krystallinse allein genommen, behaupteten Haldat und Engel[5] dasselbe. Wenn man die Krystallinse aus den Augenflüssigkeiten herausnimmt, und sie von Luft umgeben untersucht, wird ihre Brennweite aufserordentlich kurz, und dann folgt aus den allgemeinen optischen Gesetzen, dafs die Abstände der Bilder für unendlich oder 7 Zoll entfernte Objecte nicht merklich unterschieden seien. Dadurch erklären sich die von Engel erhaltenen Resultate[6].

Durch genauer angestellte Versuche haben sich dagegen Hueck[7], Volkmann[8], Gerling[9], Mayer[6] und Cramer[10] experimentell überzeugt, worüber die Theorie schon keinen Zweifel lassen konnte, dafs auch thierische und menschliche Augen Bilder verschieden entfernter Gegenstände in verschiedenen Entfernungen entwerfen.

Treviranus[11] glaubte auch eine theoretische Erklärung für die vermeintliche Thatsache geben zu können, dafs die Lage der Bilder unabhängig von der Lage des Gegenstandes sei, indem er ein besonderes Gesetz für die Zunahme der Dichtigkeit in der Linse zu diesem Ende annahm. Seine mathematische Beweisführung ist durch Kohlrausch[12] widerlegt worden.

Sturm[13] glaubte die Abweichungen, welche die brechenden Flächen des Auges verglichen mit genauen Rotationsflächen zeigen, benutzen zu können, um die Accommodation

---

1 C. N. A. De Haldat, *Comptes rendus.* XX. p. 61, 458 u. 1561.
2 F. Magendie, *Précis élémentaire de Physiologie.* I. p. 73. 1816.
3 Ritter, *Graefe und Walther's Journal.* 1832. Bd. VIII. S. 347.
4 De Haldat, *Comptes rendus.* 1842. *Ann. d. Chim. et de Phys.* Sér. 3. Tom. XII. p. 94.
5 J. Engel, *Prager Vierteljahrsschr.* 1850. Bd. I. S. 167.
6 S. ihre Widerlegung durch Mayer ebenda. 1850. Bd. IV. Aufserord. Beilage.
7 A. Hueck, *Diss. de mutationibus oculi internis.* Dorpati 1826. p. 17. — *Die Bewegung der Krystallinse.* Leipzig 1841.
8 A. W. Volkmann, *Neue Beiträge zur Physiol. d. Gesichtssinnes.* 1836. S. 100.
9 C. L. Gerling, *Poggendorff's Ann.* XLVI. 243.
10 A. Cramer, *Het Accommodatievermogen.* Haarlem 1853. S. 9.
11 G. R. Treviranus, *Beiträge zur Anat. u. Physiol. der Sinneswerkzeuge.* 1828. Heft I.
12 R. H. Kohlrausch, *Über Treviranus' Ansichten v. deutlichen Sehen in der Nähe u. Ferne.* Rinteln 1836.
13 J. K. F. Sturm, *Comptes rendus.* XX. 554, 761 u. 1238. S. die Widerlegungen von Crahay, *Bull. de Bruxelles.* XII. 2. 311. E. Brücke, *Berl. Berichte.* I. 207.

für verschiedene Abstände zu erklären. Er untersucht zunächst den Gang homocentrischer Strahlen, wenn sie durch eine krumme Fläche gebrochen sind, welche nicht eine Rotationsfläche ist, und findet, dafs sie dann nicht in einen Brennpunkt vereinigt werden, sondern dafs zwei Brennebenen für die gebrochenen Strahlen existiren. In der einen dieser Brennebenen findet die Vereinigung der Strahlen nach einer Richtung statt, in der anderen nach der darauf senkrechten. Wenn der Querschnitt des Strahlenbündels in der einen Brennebene eine kurze horizontale gerade Linie bildet, so geht er durch eine Ellipse mit horizontaler gröfster Axe in einen Kreis über, wenn man sich der anderen Brennebene nähert, und dann durch eine Ellipse mit senkrechter grofser Axe in eine senkrechte gerade Linie, wenn man bis zur anderen Brennebene fortschreitet. Zwischen den beiden Brennebenen hält STURM den Querschnitt des Strahlenbündels im Auge für klein genug, um deutliche Bilder zu geben. Wird der leuchtende Punkt dem Auge genähert, so werden beide Brennebenen sich von der Linse entfernen, so lange aber die Netzhaut sich zwischen beiden Brennebenen befindet, würden die Bilder doch hinreichend deutlich bleiben.

Abweichungen der Art, wie sie STURM annimmt, scheinen in der That bei den meisten menschlichen Augen vorzukommen, und wir werden die davon abhängigen Erscheinungen in § 14 beschreiben, ebenda uns aber auch überzeugen, dafs das Intervall der beiden Brennebenen lange nicht so bedeutend ist, wie STURM voraussetzt, und dafs 119
die erwähnte Abweichung des Auges keineswegs die Deutlichkeit des Sehens vermehrt, im Gegentheil vermindert.

DE LA HIRE[1] behauptete, dafs es nur einen Abstand des deutlichen Sehens gebe, und dafs in einer gewissen Entfernung vor ihm und hinter ihm die Gegenstände noch nicht so undeutlich erschienen, um nicht erkannt zu werden; sonst gebe es keine Accommodation. HALLER[2] ist im Wesentlichen derselben Meinung, und meint nur, dafs auch die Verengerung der Pupille ein Hülfsmittel sei, um die Zerstreuungskreise naher Gegenstände kleiner zu machen; ebenso BESIO[3].

Alle diese Ansichten, welche die Nothwendigkeit und das Vorhandensein einer inneren Veränderung des Auges ganz läugnen, werden am einfachsten widerlegt durch die Thatsache, dafs wir einen in unveränderlicher Entfernung vor dem Auge liegenden Punkt willkürlich bald deutlich, bald undeutlich sehen können. Sie werden ferner widerlegt durch den SCHEINER'schen Versuch, da wir einen solchen Punkt durch ein Kartenblatt mit zwei Öffnnngen willkürlich bald einfach, bald doppelt sehen können, und endlich durch die schon in § 11 erwähnten Beobachtungen mit dem Augenspiegel, wobei die Veränderungen des optischen Bildes auf der Netzhaut auch objectiv sichtbar gemacht werden.

2) Ansichten, wonach die Verengerung der Pupille zur Accommodation für die Nähe genügen sollte. Die Thatsache, dafs sich die Pupille beim Nahesehen verengt, war von SCHEINER[4] gefunden worden. Wäre das Auge für die Ferne accommodirt, so würden die Zerstreuungskreise, in welchen nahe leuchtende Punkte auf der Netzhaut sich abbilden, durch Verengerung der Pupille allerdings verkleinert werden können. Indessen überzeugt man sich durch einen einfachen Versuch leicht davon, dafs die Verengerung der Pupille nicht genügend ist, um das Auge für die Nähe zu accommodiren. Man braucht nur durch ein Kartenblatt mit einer Öffnung zu sehen, die enger als die Pupille ist, und welches gleichsam eine künstliche unbewegliche Pupille vertritt, um sich zu überzeugen, dafs man auch dann beim Fernsehen nahe Gegenstände undeutlich sieht, beim Nahesehen ferne. Anhänger einer solchen Ansicht waren aufser HALLER, den ich schon genannt habe, LE ROY[5], HALL[6], MORTON[7]. Die Beweise gegen diese

[1] PH. DE LA HIRE, *Journal des Sçavans.* 1685. p. 398.
[2] A. V. HALLER, *Elementa Physiologiae.* 1763. Tom. V. p. 516.
[3] BESIO, *Giornale Arcad.* 1846. CV. p. 3.
[4] CHR. SCHEINER, *Oculus.* p. 31.
[5] CH. LE ROY, *Mém. d. l'Acad. d. Sciences.* 1755. p. 594.
[6] HALL, *Meckel's Archiv.* Bd. IV. S. 611.
[7] S. G. MORTON, *American Journal of med. Sciences.* 1831. Nov.

Meinung brachten vor Olbers[1], Dugès[2], Hueck und Donders[3]. Eine eigenthümliche Ansicht über den Erfolg der Verengerung der Pupille, die aber durch den schon genannten Versuch ebenfalls widerlegt wird, stellte J. Mile[4] auf, nahm sie aber selbst später wieder zurück[5]. Er glaubte, dafs beim Fernsehen die Randstrahlen des Lichtbündels, welche vor der Netzhaut die Augenaxe schneiden würden, durch Diffraction am Rande der Pupille von der Augenaxe abgelenkt würden, und sie deshalb erst später schnitten. Die Diffraction des Lichts besteht aber keineswegs in einer solchen einfachen Ablenkung der ganzen Strahlen.

3) Ansichten, welche eine veränderte Krümmung der Hornhaut voraussetzen. Lobé[6] scheint der Erste gewesen zu sein, der eine Veränderung der Hornhautkrümmung wahrgenommen zu haben meinte. Olbers[7] wagt nach seinen eigenen Beobachtungen nicht bestimmt zu behaupten, dafs die Convexität beim Nahesehen zunehme. Home[8], Englefield und Ramsden dagegen wollten eine Vermehrung der Krümmung bestimmt wahrgenommen haben. Jemand, der ein gutes Accommodationsvermögen besitzt, wurde mit dem Kopf in den Ausschnitt eines festen Brettes befestigt, so dafs sein Kopf möglichst unbeweglich war. An dem Brette, in einem kleinen Abstande vom Auge, war eine Platte mit einer kleinen Öffnung befestigt (als Fixationspunkt), während ebenfalls an dem Brette zur Seite des Auges ein bewegliches Mikroskop angebracht war, durch welches man die vorderste Krümmung der Hornhautfläche wahrnehmen konnte. Das Mikroskop selbst war mit einem Ocularmikrometer versehen. Beim Nahesehen sollte die Hornhaut stärker gekrümmt werden, so dafs ihre Mitte um $1/800$ eines
120 englischen Zolles vorrückte. Messung der Spiegelbildchen auf der Hornhaut, welche Home später ausführte, ergab zweifelhaftere Resultate. Wahrscheinlich ist er in beiden Fällen durch sehr kleine, regelmäfsig eintretende Verschiebungen des Kopfes der beobachteten Person von hinten nach vorn getäuscht worden. Th. Young[9] fand, indem er die Spiegelbilder der Hornhaut der Messung unterwarf, keine solche Unterschiede, und widerlegte namentlich die Hypothese der veränderten Hornhautkrümmung sehr schlagend in der oben beschriebenen Weise dadurch, dafs er die unveränderte Existenz des Accommodationsvermögens nachwies, auch wenn das Auge unter Wasser gebracht ist. Hueck[10] fand bei der Wiederholung von Home's Versuchen ähnliche Resultate, meint aber ermittelt zu haben, dafs die Athmungsbewegungen regelmäfsige Schwankungen des Kopfes hervorbringen, indem wir beim Nahesehen gewöhnlich einathmen, beim Fernsehen ausathmen. Sobald er den Athem anhalten liefs, traten gar keine oder nur sehr unregelmäfsige Schwankungen der Mitte der Hornhaut ein. Diese unregelmäfsigen Schwankungen schienen durch Contractionen des Schliefsmuskels der Augenlider hervorgebracht zu sein, da bei jeder Berührung der Cilien der Augapfel etwas zurückgedrängt wurde. Burow[11] fand bei einer sorgfältigen Wiederholung von Home's Versuchen keine regelmäfsigen Schwankungen der Hornhautfläche; ebenso Valentin[12]. Senff[13] stellte Messungen der Spiegelbildchen mit einem Fernrohr an, wodurch seine Messungen von kleinen Verschiebungen des Auges unabhängig wurden, und fand, dafs der Krümmungshalbmesser der Hornhaut sich nicht um 0,01 Par. Linie veränderte, während das Auge bald auf 4, bald

---

1 H. W. M. Olbers, *De oculi mutationibus internis*. Gotting. 1780. p. 13.
2 Dugès, *Institut* 1834. No. 73.
3 F. C. Donders in Ruete, *Leerboek der Ophthalmologie*. 1846. bl. 110.
4 J. Mile, Magendie, *Journal de Physiologie*. VI. p. 166.
5 J. Mile, *Poggendorff's Ann.* XLII.
6 Lobé, Albinus, *Dissert. de oculo humano*. Lugd. Bat. 1742. p. 119.
7 H. W. M. Olbers, *De oculi mutat. int.* p. 39.
8 E. Home, *Philosoph. Transact.* 1795. p. 13 u. 1796. p. 2.
9 Th. Young, *Philosoph. Transact.* 1801. I. p. 55.
10 A. Hueck, *Die Bewegung der Krystallinse*. S. 40.
11 Burow, *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschl. Auges*. Berlin 1842. S. 115.
12 G. G. Valentin, *Lehrbuch der Physiologie*. 1848. Bd. II. S. 122.
13 Senff, Art. „Sehen" in R. Wagner's *Handwörterbuch der Physiologie*. S. 303.

uf 222 Zoll accommodirt wurde. Auch Cramer[1] erhielt negative Resultate bei einer lessung der Spiegelbilder auf der Hornhaut mit Hülfe seines Ophthalmoskops. Sehr eicht und genau läfst sich diese Art von Messungen mittels des von mir construirten)phthalmometers[2] ausführen, und gab mir ebenfalls negative Resultate.

Als Anhänger der Ansicht, wonach die Accommodation durch Änderung der Horn-autkrümmung bewirkt werde, sind aus späterer Zeit noch anzuführen Fries[3], Vallée[4] nd Pappenheim[5]. Der Letztere nimmt an, dafs die Contraction der Iris beim Nahe-ehen die Hornhaut convexer mache.

4) Ansichten, nach welchen die Accommodation durch Verschiebung er Linse bewirkt wird. Diese Annahme war die älteste, denn schon Kepler[6], aus essen Theorie des Sehens sich zuerst auch die Nothwendigkeit der Accommodation rgab, stellte sie auf, und sie hat zu jeder Zeit viele Anhänger gehabt. Ihm folgten cheiner[7], Plempius[8], Sturm[9], Conradi[10], Porterfield[11], Platner[12], Jacobson[13], Brewster[14], J. Müller[15], Moser[16], Burow[17], Ruete[18], William Clay Wallace[19], C. Veber[20]. Die meisten dieser Männer hielten es für wahrscheinlich, dafs der Ciliarkörper urch willkürlich hervorgebrachte Zusammenziehungen die Linse vor- und rückwärts be-vegen könne. Um bei der Berechnung der Gröfse, um welche die Linse verschoben verden müfste, um das Auge zu accommodiren, nicht unmögliche Gröfsen zu finden, war nan gezwungen, der Hornhaut eine gröfsere, der Linse eine geringere Brennweite bei-ulegen, als diese Theile wirklich besitzen. Unterstützt wurde diese Ansicht in neuerer 121
Zeit auch namentlich durch Beobachtungen am lebenden Auge, welche bewiesen, dafs ie Pupille sich beim Nahesehen der Hornhaut nähert. Bei Vögeln hat Bidloo[21] schon ie stärkere Wölbung der Iris beim Nahesehen bemerkt, was für den Menschen später Hueck[22], Burow[23] und Ruete bestätigten. C. Weber zeigte auf mechanischem Wege, dafs ei Hunden die Vorderfläche der Linse sich nach vorn bewegt, sobald der vordere Theil es Auges durch elektrische Ströme gereizt wird. Er machte zu dem Ende an dem uge eines lebenden, durch Opium betäubten Hundes in der Mitte der Cornea eine unde Öffnung, führte ein passend befestigtes Stäbchen ein, bis es die vordere Fläche der inse berührte. Das andere Ende des Stäbchens stützte sich gegen den kürzeren Arm ines Fühlhebels, der das Vordrängen der vorderen Linsenfläche in vergröfsertem Maafs tabe anzeigte.

Hannover[24] nahm dagegen die Möglichkeit an, dafs die Linse in ihrer Kapsel sich ach vorn und hinten bewegen könnte, wozu ihr der sogenannte *Liquor Morgagnii*

---

1 A. Cramer, *Het Accommodatievermogen der Oogen.* Harlem 1853. bl. 45.
2 H. Helmholtz, *Graefe's Archiv für Ophthalmologie.* Bd. I. (2) S. 303.
3 Fries, *Über den optischen Mittelpunkt im menschl. Auge.* Jena 1839. S. 27.
4 L. L. Vallée, *C. R. de l'Acad. d. Sciences.* 1847. Oct. p. 501.
5 Pappenheim, *Specielle Gewebelehre des Auges.* Breslau 1842
6 J. Kepler, *Dioptrice.* Propos. 64.
7 C. Scheiner, *Oculus.* Oeniponti 1619. Lib. III. p. 163.
8 Plempius, *Ophthalmographia.* Lovanii 1648. B. III.
9 J. Chr. Sturm, *Dissertatio visionem ex obscurae camerae tenebris illustrans.* Altdorfii 1693. p. 172.
10 Conradi, *Froriep's Notizen.* Bd. 45.
11 W. Porterfield, *On the eye.* Edinburgh 1759. Vol. I. p. 450.
12 J. Z Platner, *De motu ligamenti ciliaris.* Lipsiae 1738. p. 5.
13 Jacobson, *Suppl. ad. Ophthalm.* Copenh. 1821.
14 D. Brewster, *Edinb. Journal of Science.* I. 77. — *Poggendorff's Ann.* II. 271.
15 J. Müller, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig 1826. S. 212.
16 L. Moser, *Dove's Repertor. d. Physik.* Berlin 1844. Bd. V. S. 364.
17 Burow, *Beiträge zur Physiol. u. Physik des menschl. Auges.* Berlin 1842.
18 C. G. Th. Ruete, *Lehrbuch der Ophthalmologie.*
19 William Clay Wallace, *The accommodation of the eye to distances.* New York 1850.
20 C. Weber, *Disquisitiones quae ad facultatem oculum accommandandi spectant.* Marburgi 1850. p. 31.
21 Bidloo, *Observ. de oculis et visu variorum animalium.* Lugd. Bat. 1715.
22 A. Hueck, *Bewegung der Krystallinse.* S. 60.
23 Burow, *Beiträge zur Physiol. u. Physik des menschl. Auges.* S. 136.
24 A. Hannover, *Bidrag til Oiets Anatomie.* Kjöbenhavn 1850. p. 111.

Platz lassen sollte. Dafs eine solche Flüssigkeit in der normalen Linsenkapsel nicht existirt, ist schon erwähnt worden.

5) Ansichten, welche eine Formveränderung der Linse annehmen. Diese Annahme, welche sich endlich als die richtige erwiesen hat, wurde ebenfalls schon sehr früh gemacht und von Vielen vertheidigt, ohne dafs sie aber das Stattfinden einer solchen Veränderung durch wirkliche Beobachtungen hätten erweisen können. Der erste war DESCARTES[1], es folgten PEMBERTON[2], CAMPER[3], HUNTER[4], TH. YOUNG[5], PURKINJE[6], GRAEFE[7], TH. SMITH[8], HUECK[9], STELLWAG VON CARION[10], FORBES[11]. Ältere Anatomen, wie LEEUWENHOEK, PEMBERTON, nannten die Linse deshalb auch wohl *Musculus crystallinus*, weil sie voraussetzten, dafs ihre Fasern contractil seien. TH. YOUNG stützte diese Ansicht auf Versuche, welche nicht jedem Auge gelingen, für ihn selbst aber vollständig beweisend waren. Wenn man durch ein feines Gitter von geraden Drähten das Zerstreuungsbild eines Lichtpunktes betrachtet, ist das Bild von geraden dunklen Linien, Schattenbildern der Drähte, durchzogen. Diese waren vollständig gerade, wenn YOUNG's Auge für die Ferne accommodirt war, an den Seiten des Zerstreuungskreises dagegen nach aufsen convex, wenn er in die Nähe sah. Die Erscheinung blieb dieselbe, wenn er das Auge unter Wasser brachte, und so den Einflufs der Hornhaut eliminirte. Die Krümmung der vorher geraden Schattenlinien konnte nur durch eine veränderte Krümmung der Linsenflächen bedingt sein. Zur Ausführung des Versuchs gehört eine weite Pupille. WOLLASTON konnte die Erscheinung nicht sehen (auch Referent nicht), wohl aber ein anderer Freund YOUNG's, KOENIG. Dem entsprechend fand YOUNG mittelst seines Optometers, dafs beim Sehen durch vier neben einander liegende Spalten die vier Bilder des Fadens sich in einem Punkte schnitten, wenn er für die Ferne, aber nicht, wenn er für die Nähe accommodirte.

Die Veränderung der Linsenreflexe bei Accommodationsänderungen beobachtete zuerst MAX LANGENBECK[12], und schlofs auch richtig daraus, dafs die vordere Linsenfläche beim Nahesehen gewölbter wird. Seine Beobachtungsweise ist aber ungünstig, indem er den Beobachteten direct in die Flamme blicken liefs, wobei die drei Spiegelbildchen dem Beobachter sehr nahe an einander zu stehen scheinen, und das überwiegend helle Hornhautbild die Wahrnehmung der beiden anderen erschwert. Dies mag der Grund sein, weshalb LANGENBECK's Beobachtung die Aufmerksamkeit der Physiologen nicht erregte. CRAMER beobachtete dasselbe, verbesserte aber die Methode der Beobachtung namentlich dadurch, dafs er die Lichtstrahlen von der Seite her in das Auge fallen und den Beobachter von der anderen Seite hereinblicken liefs. Auch beschrieb er ein Instrument, welches er Ophthalmoskop nannte, um die Beobachtungen leichter und sicherer zu
122 machen. Es ist dies im Wesentlichen ein Gestell, an welchem eine Lampe, ein Fadenkreuz als Gesichtszeichen, ein Mikroskop von ungefähr 10 bis 20maliger Vergröfserung und ein hohles kegelförmiges Stück mit den nöthigen Ausschnitten, an welches der Beobachtete sein Auge fest anlegt, angebracht sind. Der Beobachter stellt die Flamme so, dafs er durch das Mikroskop in der Pupille des beobachteten Auges den Reflex der mittleren Linsenfläche zwischen den beiden anderen Reflexen erscheinen sieht. Indessen ist die wesentlichste Thatsache, die Verkleinerung des von der vorderen Linsenfläche entworfenen Bildes, auf diese Weise nicht so bequem zu beobachten, als wenn man das

---

1 R. CARTESIUS, *Dioptrice.* Lugd. Bat. 1637.
2 PEMBERTON, *Dissert. de facultate oculi, qua ad diversas distantias se accommodat.* Lugd. Bat. 1719.
3 P. CAMPER, *Dissert. physiol. de quibusdam oculi partibus.* Lugd. Bat. 1746. p. 23.
4 J. HUNTER, *Philosoph. Transact.* 1794. p. 21.
5 TH. YOUNG, *Philosoph. Transact.* 1801. P. I. p. 53.
6 J. E. PURKINJE, *Beobachtungen u. Versuche zur Physiol. d. Sinne.* Berlin 1825.
7 K. F. v. GRAEFE, *Reil's Archiv für Physiologie.* Bd. IX. S. 231.
8 TH. SMITH, *Philosophical Magazine.* 1833. T. V. 3. No. 13. — *Schmidt's Jahrbücher.* 1834. Bd. I. S.
9 A. HUECK, *Bewegung der Krystallinse.* Leipzig 1841.
10 STELLWAG VON CARION, *Zeitschrift der k. k. Gesellschaft der Ärzte zu Wien.* 1850. Heft 3 u. 4.
11 FORBES, *Comptes rendus.* XX. p. 61.
12 MAX LANGENBECK, *Klinische Beiträge.* Göttingen 1849.

piegelbild von zwei leuchtenden Punkten mit blofsem Auge beobachtet, wie ich es ben beschrieben habe. Die Verschiebung des Reflexes der vorderen Linsenfläche dagegen, welche durch CRAMER's Ophthalmoskop leicht und sicher zu beobachten ist, ist wegen der von CRAMER noch nicht gekannten Asymmetrie des Auges für sich allein nicht beweisend, wenn man sich nicht, was leicht auszuführen ist, durch eine Reihe von Versuchen überzeugt, dafs von jeder Stelle der Pupille aus das genannte Bild sich stets der Mitte der Pupille nähert.

Ohne von den beiden genannten Forschern zu wissen, und zu einer Zeit, wo CRAMER's Entdeckung erst durch kurze Notizen[1], die er selbst und DONDERS gegeben hatte, veröffentlicht war, ehe noch seine von der Holländischen Gesellschaft der Wissenschaften gekrönte Abhandlung erschienen war, fand ich selbst dieselbe Thatsache[2], und ermittelte weiter dasjenige, was ich oben über das Verhalten der hinteren Fläche der Linse bei der Accommodation angeführt habe[3].

Gegen die Abhängigkeit des Accommodationsvermögens von Verschiebungen und Formänderungen der Linse wurden vielfach Fälle geltend gemacht, in denen das Auge sich noch sollte accommodiren können, nachdem die Linse durch die Staaroperation entfernt war. Indessen ist dabei zu bedenken, dafs eine Regeneration der Linse möglich ist, und dafs die Kranken auch bei unpassender Accommodation aus Zerstreuungsbildern mancherlei erkennen können. Dafs Jemand, der mit der Staarbrille Druckschrift liest, mit derselben Brille auch ferne Menschen, Fensterkreuze und dergleichen erkennen kann, berechtigt noch nicht, ihm Accommodationsvermögen zuzuschreiben. Ein Jeder kann sich leicht überzeugen, dafs, wenn er einen Finger in etwa 4 Fufs Entfernung fixirt, er dabei doch eine Menge Einzelheiten an weit entfernten Gegenständen wahrnehmen kann. Zum Beweis des Vorhandenseins von Accommodation gehört, dafs der Kranke mit derselben Brille einen Gegenstand in bestimmter Entfernung willkürlich deutlich und undeutlich sehen kann, je nachdem er sein Auge für dieselbe oder eine andere Entfernung einzurichten strebt. SZOKALSKY will einen solchen Fall wirklich beobachtet haben; aber das betreffende Auge konnte ohne Staarbrille in 17 Zoll Entfernung deutlich sehen, was ohne Ersatz der Linse nicht möglich ist. Um bei operirten Augen während des Lebens zu erkennen, ob die Linse hergestellt sei, schlägt DONDERS vor die entoptischen Erscheinungen zu benutzen.

6) Ansichten, welche eine Formveränderung des Augapfels annehmen. Wenn die Netzhaut sich von den brechenden Flächen entfernen, der Augapfel sich also verlängern könnte, würde das Auge sich dadurch für die Nähe accommodiren. Die Anhänger dieser Ansicht nahmen meistentheils an, dafs die Augenmuskeln, entweder die rechten allein, oder die schiefen allein, oder alle zusammen, oder auch der Schliefsmuskel der Augenlider, durch Druck auf den Augapfel dessen Gestalt verändern könnten. Hierzu gehören STURM[4], LE MOINE[5], BUFFON[6], BOERHAVE[7], MOLINETTI[8], OLBERS[9], HAESELER[10], WALTHER[11]. MONRO[12], HIMLY[13], MECKEL[14], PARROT[15], POPPE[16], SCHROEDER VAN

---

[1] A. CRAMER, *Tydschrift der Maatschappy vor Geneeskunde.* 1851. W. 11. bl. 115. und *Nederlandsch Lancet.* Serie. W. 1. bl. 529. 1851—52.
[2] H. HELMHOLTZ, *Monatsberichte der Berliner Akad.* 1853. Februar. S. 137.
[3] H. HELMHOLTZ, *Graefe's Archiv für Ophthalmologie.* Bd. 1. (2) S. 1—74.
[4] J. CHR. STURM, *Dissert. de presbyopia et myopia.* Altdorfii 1697.
[5] LE MAINE, *Quaestio an obliqui musculi retinam a crystallino removeant.* Parisiis 1743.
[6] G. L. L. BUFFON, *Histoire naturelle.* Paris 1739. T. III. p. 331.
[7] H. BOERHAVE, *Praelectiones academ.* Taurini 1755. Vol. III. p. 121.
[8] A. v. HALLER, *Elementa Physiologiae,* 1763. T. V. p. 511.
[9] H. W. M. OLBERS, *Dissert. de oculi mutat. int.* Gottingae 1780. § 43.
[10] J. F. HAESELER, *Betrachtungen über das menschliche Auge.*
[11] WALTHER, *Dissert. de lente crystallina.* § 1.
[12] MONRO, *Altenburger Annalen* f. d. J. 1801. S. 97.
[13] HIMLY, *Ophthalmologische Beobachtungen und Untersuchungen.* Bremen 1801.
[14] G. CUVIER, *Vorlesungen über vergl. Anat.* Übers. von MECKEL. Leipzig 1809. Bd. II. S. 369.
[15] G. F. PARROT, *Entretiens sur la physique.* Dorpat 1820. T. III. p. 434.
[16] J. H. M. POPPE, *Die ganze Lehre vom Sehen.* Tübingen 1823. S. 153.

123 der Kolk[1], Arnold[2], Serre[3], Bonnet[4], Henle[5], Szokalsky[6], Listing[7]. Dafs die Augenmuskeln nicht nur die Form des Augapfels ändern können, sondern auch mittelbar die Hornhaut gewölbter machen und die Linse nach vorn verschieben, nimmt Clavel[8] an. Die Gründe, aus denen eine solche Gestaltänderung des Augapfels unwahrscheinlich erscheint, habe ich schon oben angeführt.

Die angeführten Ansichten sind die wichtigeren, welche über diesen schwierigen Gegenstand aufgestellt worden sind: daneben wurden von Einzelnen noch mancherlei andere Erklärungsweisen hervorgesucht, welche sich mit Recht geringeren Beifalls zu erfreuen hatten. Ich erwähne v. Grimm[9], welcher annahm, das Brechungsvermögen der Augenmedien könnte sich ändern; Weller[10], welcher die Accommodation nicht durch eine Veränderung des Auges, sondern durch einen psychischen Prozefs erklären wollte u. s. w.

125 § 13. Von der Farbenzerstreuung im Auge.

Dafs die Lichtstrahlen, welche von einem gesehenen leuchtenden Punkte ausgegangen sind, durch die brechenden Mittel des Auges wieder in einen Punkt vereinigt werden, ist nur annähernd richtig. Wir wenden uns jetzt zum Studium der Abweichnngen von dem genannten Gesetze, und wollen zunächst die chromatische Abweichung betrachten, welche daher entsteht, dafs die Lichtstrahlen von verschiedener Schwingungsdauer auch verschiedene Brechbarkeit in tropfbaren und festen durchsichtigen Mitteln haben. Da die Gröfse der Brennweiten gekrümmter brechender Flächen von dem Brechungsverhältnisse abhängig ist, so liegen die Vereinigungspunkte von Strahlen verschiedener Farbe bei Systemen solcher Flächen im Allgemeinen an verschiedenen Orten, und nur durch besondere Combinationen verschiedenartiger brechender Mittel läfst es sich erreichen, dafs die Brennpunkte verschiedenfarbiger Strahlen in optischen Apparaten zusammenfallen, so dafs diese dadurch achromatisch werden.

Das Auge ist nicht achromatisch, obgleich beim gewöhnlichen Sehen die Farbenzerstreuung sich fast gar nicht merklich macht. Dafs der brechende Apparat des Auges verschiedene Brennweiten für verschiedenfarbige einfache Strahlen habe, zeigte Frauenhofer folgendermafsen. Er beobachtete ein prismatisches Spectrum durch ein achromatisches Fernrohr, in dessen Ocular ein sehr feines Fadenkreuz angebracht war, und bemerkte, dafs er die Ocularlinse dem Fadenkreuze näher schieben mufste, um dies deutlich sehen
126 zu können, wenn er den violetten Theil des Spectrum im Gesichtsfelde hatte, als wenn er den rothen betrachtete. Indem er mit einem Auge ein

---

1 Luchtmans *Diss. de mutatione axis oculi.* Traject. ad Rhenum 1832.
2 Arnold, *Untersuchungen über das Auge des Menschen.* Heidelberg 1832. S. 38.
3 Serre, *Bulletin de thérapie.* 1835. T. 8. L. 4.
4 Bonnet, *Froriep's Notizen.* 1841. S. 233.
5 J. Henle, *Canstatt's Jahresbericht* für 1849. Bd. I. S. 71.
6 Szokalsky, *Archiv für physiologische Heilkunde.* VII. 1849. 7.—8. Heft.
7 J. Listing, *Wagner's Handwörterbuch d. Physiologie.* IV. 498.
8 Clavel, *Comptes rendus.* XXXIII. p. 259.
9 v. Grimm, *Dissert. de visu.* Gottingae 1758.! S. auch H. W. M. Olbers *de oculi mutationibus internis.* p. 29.
10 Weber, *Diätetik für gesunde und schwache Augen.* Berlin 1821. S. 225.

äufseren Gegenstand fixirte, mit dem anderen den Faden im Fernrohre betrachtete, stellte er die Ocularlinse so, dafs ihm der Faden ebenso deutlich wie das äufsere Object erschien, und mafs, um wie viel die Linse verschoben werden mufste, um den Faden in zwei verschiedenen Farben gleich deutlich zu sehen. Mit Berücksichtigung der schon vorher gemessenen chromatischen Abweichung der Ocularlinse selbst konnte er dann berechnen, welches die entsprechenden Sehweiten des Auges seien. Er fand bei diesen Versuchen, dafs ein Auge, welches ein unendlich entferntes Object deutlich sieht, dessen Licht der Linie *C* des Sonnenspectrum, also der Grenze zwischen Roth und Orange entspricht, bei demselben Accommodationszustande ein Object, dessen Licht der Farbe der Linie *G* (Grenze von Indigblau und Violett) entspräche, auf 13 bis 24 Par. Zoll nähern müfste, um es deutlich zu sehen.

Ich habe an meinen eigenen Augen ähnliche Resultate erhalten. Ich liefs verschiedenfarbiges, mittels eines Prisma isolirtes Licht durch eine punktförmige Öffnung eines dunklen Schirms fallen, und suchte dann die gröfste Entfernung auf, aus der ich die kleine Öffnung noch punktförmig sehen konnte. Die gröfste Sehweite meines Auges für rothes Licht beträgt gegen 8 Fufs, für violettes $1^1/_2$ Fufs und für das brechbarste überviolette Licht der Sonne, welches durch Abblendung des helleren Lichts des Spectrum sichtbar gemacht werden kann, nur einige Zolle.

Auffallend bemerkt man die Verschiedenheit der Sehweiten, wenn man ein regelmäfsig rechteckiges, auf einen weifsen Schirm projicirtes prismatisches Spectrum aus einiger Entfernung betrachtet. Während man das rothe Ende noch ziemlich gut in seiner wirklichen Form erkennt, erscheint das violette als eine Zerstreuungsfigur (die für meine Augen schwalbenschwanzförmig ist).

Das im Vergleiche mit künstlichen optischen Instrumenten ziemlich geringe Zerstreuungsvermögen des menschlichen Auges erklärt sich daraus, dafs die Dispersion des Wassers und der meisten wässrigen Lösungen überhaupt viel geringer ist als die des Glases. Da die Brechungsverhältnisse der optischen Medien des Auges meist nicht beträchtlich von dem des Wassers abweichen, so scheint es wahrscheinlich zu sein, dafs wenigstens die wässrige Feuchtigkeit und der Glaskörper auch nahezu dasselbe Zerstreuungsvermögen wie das Wasser haben werden. Ich habe deshalb die Dispersion für Listing's reducirtes Auge mit einer brechenden Fläche berechnet unter der Annahme, dafs Wasser darin als brechende Substanz gebraucht sei. Für die von Frauenhofer bei seinen Versuchen gebrauchten Strahlen sind die Brechungsverhältnisse des Wassers folgende:

für das rothe Licht der Linie *C* 1,331705
für das violette Licht der Linie *G* . . . . 1,341285.

Der Radius der einzigen brechenden Fläche von Listing's reducirtem Auge

ist 5,1248 Millimeter. Daraus ergeben sich die Brennweiten im Innern des Auges:

im Roth 20,574 mm
im Violett 20,140 mm.

127 Ist das Auge im Roth für unendliche Ferne accommodirt, steht also die Netzhaut im Brennpunkte der rothen Strahlen, so liegt der Brennpunkt der violetten 0,434 mm vor ihr, woraus folgt, dafs in violettem Lichte dieses Auge für eine Entfernung von 713 mm (26 Zoll) accommodirt sein würde. Frauenhofer fand für sein eigenes Auge 18 bis 24 Zoll, woraus folgt, dafs die Farbenzerstreuung in einem aus destillirtem Wasser gebildeten Auge selbst noch etwas geringer sein würde, als sie im menschlichen Auge sich findet. Nimmt man dagegen an, dafs das reducirte Auge wie meines im Roth für 8 Fufs (2,6 m) accommodirt sei, so würde die Netzhaut noch 0,123 mm hinter dem Brennpunkte der rothen Strahlen liegen müssen, und im Violett das Auge für 20¾ Zoll (560 mm) accommodirt sein, während meines in der That für 18 Zoll accommodirt war. Auch Matthiessen[1] berechnet aus seinen Versuchen den Abstand des rothen und violetten Brennpunktes im menschlichen Auge auf 0,58 bis 0,62 mm, während er in einem Auge aus destillirtem Wasser nur gleich 0,434 mm ist. Matthiessen hat seine Messungen in der Weise angestellt, dafs er den kürzesten Abstand mafs, in welchem eine Glastheilung von rothem oder violettem Lichte beleuchtet deutlich gesehen werden konnte. Alle diese nach verschiedenen Methoden ausgeführten Untersuchungen stimmen darin überein, dafs das menschliche Auge in Bezug auf Farbenzerstreuung mit einem Auge aus destillirtem Wasser sehr nahe übereinstimmt, wahrscheinlich aber eine etwas stärkere Dispersion hat. Wir dürfen danach wohl vermuthen, dafs die Krystallinse ein im Verhältnifs zu ihrem Brechungsvermögen etwas stärkeres Zerstreuungsvermögen als reines Wasser hat.

Ich will hier noch die Beschreibung einiger Versuche anreihen, bei denen sich die Farbenzerstreuung im Auge merklich macht. Im Allgemeinen sind die hierhergehörigen Erscheinungen viel auffallender, wenn man dabei nicht weifses Licht, sondern Licht braucht, welches aus nur zwei prismatischen Farben von möglichst verschiedener Brechbarkeit zusammengesetzt ist. Am leichtesten erhält man solches Licht, wenn man Sonnenlicht durch die gewöhnlichen violetgefärbten Gläser gehen läfst. Diese Gläser absorbiren die mittleren Strahlen des Spectrum ziemlich vollständig, und lassen nur die äufsersten Farben Roth und Violet hindurch. Will man mit Lampenlicht experimentiren, welches wenig blaue und violette Strahlen enthält, so wendet man besser die gewöhnlichen blauen (durch Kobalt gefärbten) Gläser an, welche ebenfalls vom Orange, Gelb und Grün nur wenig, reichlich dagegen das äufserste Roth, das Indigblau und Violet hindurchlassen.

Man mache eine enge Öffnung in einen dunklen Schirm, befestige hinter derselben ein gefärbtes Glas von der erwähnten Art, und stelle ein Li

[1] L. Matthiessen, *Comptes rendus.* T. XXIV. p. 874.

dahinter, dessen Strahlen durch das Glas und die Öffnung in das Auge des Beobachters fallen. Die Öffnung im Schirme können wir unter diesen Umständen als einen leuchtenden Punkt, der rothe und violette Strahlen aussendet, betrachten. Dem Beobachter erscheint dieser Punkt in verschiedener Weise, je nach der Entfernung, für welche sein Auge accommodirt ist. Ist es für die rothen Strahlen accommodirt, so geben die violetten einen Zerstreuungskreis, und es erscheint ein rother Punkt mit violettem Lichthofe; *128* oder das Auge ist für die violetten Strahlen accommodirt, dann geben die rothen einen Zerstreuungskreis, und es erscheint ein violetter Punkt mit rothem Hofe. Auch ist ein Refractionszustand des Auges möglich, wobei der Vereinigungspunkt der violetten Strahlen vor, der der rothen hinter der Netzhaut liegt, und beide gleich grofse Zerstreuungskreise geben. Nur in diesem Falle erscheint der Lichtpunkt einfarbig. Bei diesem Refractionszustande des Auges würden diejenigen einfachen Strahlen auf der Netzhaut vereinigt werden, deren Brechbarkeit die Mitte zwischen der der rothen und violetten hält, also die grünen.

Deshalb geben diese Gläser ein Mittel von ziemlich grofser Empfindlichkeit ab, um die Entfernungen zu bestimmen, innerhalb welcher das Auge sich für die mittleren Strahlen des Spectrum accommodiren kann. Das sind nämlich die Entfernungen, innerhalb welcher das Auge das gemischte rothviolette Licht einfarbig sehen kann. Die Farbendifferenz der Ränder wird sehr leicht bemerkt, auch von einem Ungeübten, viel leichter als die Ungenauigkeit eines weifsen Bildes. Ist das Auge für Licht jeder Brechbarkeit auf gröfsere Entfernungen als die des leuchtenden Punktes accommodirt, so geben die rothen Strahlen einen gröfseren Zerstreuungskreis als die violetten, es erscheint also eine violette Scheibe mit rothem Saum. Ist das Auge für beide Farben auf kleinere Entfernungen als die des leuchtenden Punktes eingestellt, so erscheint umgekehrt ein rother Zerstreuungskreis mit blauem Saume.

Ähnliche Erscheinungen wie die der roth-violetten Gläser treten überall ein, wo ein Gegenstand zweierlei Arten verschiedenfarbigen Lichts von sehr unterschiedener Brechbarkeit aussendet. Sehr auffallend zeigen sie sich zum Beispiel auch bei den Versuchen über Mischung von Spectralfarben, welche ich später bei der Lehre von der Farbenmischung beschreiben werde.

Bei weifser Beleuchtung tritt natürlich ebenfalls eine Zerlegung des zusammengesetzten einfachen Lichts ein, aber sie ist unter gewöhnlichen Umständen wenig merklich. Die Beobachtung lehrt in dieser Beziehung, dafs weifse Flächen, welche weiter entfernt als der Accommodationspunkt des Auges liegen, mit einem schwachen blauen Rande umgeben erscheinen, weifse Flächen, welche näher als der Accommodationspunkt liegen, mit einem schwachen rothgelben Rande, weifse Flächen dagegen, für welche das Auge genau accommodirt ist, lassen keine farbigen Ränder sehen, so lange die Pupille vollständig frei ist, zeigen aber solche Ränder, sobald man dicht

vor das Auge den Rand eines undurchsichtigen Blattes schiebt, und dadurch der einen Hälfte der Pupille das Licht abschneidet. Und zwar erscheint die Grenze zwischen einem weifsen und schwarzen Felde gelb gesäumt, wenn man das Blatt von der Seite her vor die Pupille schiebt, wo das schwarze Feld liegt, blau gesäumt dagegen, wenn man es von der Seite des weifsen Feldes her vorschiebt.

Die eben beschriebenen Farbenzerstreuungserscheinungen im menschlichen Auge erklären sich sehr leicht aus dem Umstande, dafs der hintere Brennpunkt der violetten Strahlen vor dem der rothen liegt.

Es sei *Fig. 77 A* der leuchtende Punkt, b_1 b_2 die vordere Hauptebene des Auges, v der Vereinigungspunkt der violetten, r der der rothen Strahlen,
129 c c die Ebene, in welcher sich die äufsersten rothen Strahlen des gebrochenen Strahlenkegels b_1 b_2 v schneiden. Der Anblick der Figur ergiebt sogleich, dafs, wenn die Netzhaut vor der Ebene cc sich befindet, d. h wenn das Auge fü fernere Gegenstände als A accommodir ist, sie am Rand

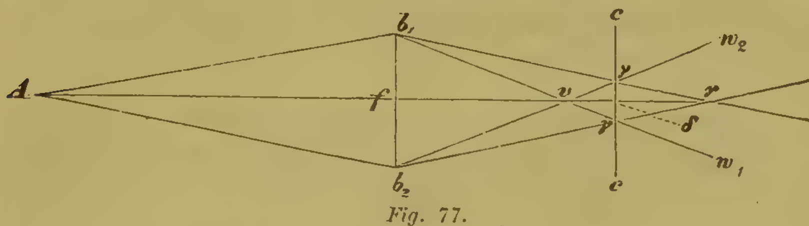


Fig. 77.

des Strahlenkegels nur von rothem Lichte, in der Axe aber von gemischten getroffen werde. Steht sie in der Ebene c c, ist das Auge also für da Licht mittlerer Brechbarkeit von A accommodirt, so wird sie überall vo gleichmäfsig gemischtem Lichte getroffen. Endlich, wenn die Netzhaut sic hinter der Ebene c c befindet, das Auge also für nähere Gegenstände als accommodirt ist, so trifft sie am Rande des Strahlenbündels nur violettes, i der Mitte gemischtes Licht.

Ist das Auge für A accommodirt, befindet sich die Netzhaut also i der Ebene c c, und wird der untere Theil der Apertur b_1 b_2, durch welch der Strahlenkegel einfällt, bis f hin verdeckt, so fallen die violetten Strahle zwischen b_2 v und f v sowie deren Verlängerungen zwischen v w_2 und v fort, und die rothen zwischen b_2 r und f r. Es verschwindet dann also i der Ebene c e oberhalb der Axe das violette, unterhalb der Axe das roth Licht, und es wird sich auf der Retina statt des Bildes des Punktes A ei kleiner oben rother, unten violetter Zerstreuungskreis bilden.

Befindet sich in A statt eines einzelnen leuchtenden Punktes eine gleic mäfsig rothes und violettes Licht aussendende Fläche, deren Bild auf de Retina entworfen wird, so wird gleichzeitig ein rothes und ein violettes Bil der Fläche entworfen werden, von denen mindestens eines ein Zerstreuung bild sein mufs. Zerstreuungsbilder in Flächen haben, wie in § 11 auseina dergesetzt ist, in ihrer Mitte, wo die Zerstreuungskreise der Punkte de Randes nicht hinreichen, dieselbe Helligkeit wie ein scharfgesehenes Bil Ihre Ränder sind dagegen verwachsen und fliefsen so weit über das Bi der Umgebung über, als die Zerstreuungskreise der Randpunkte reiche

Wenn sich nun ein rothes und ein violettes Bild einer Fläche decken, so wird sich in der Mitte, soweit beide die normale Helligkeit haben, die Mischfarbe zeigen, an den Rändern aber diejenige Farbe allein erscheinen, deren Zerstreuungskreise die gröfsten sind, für welche also der Rand des Bildes am weitesten über die Umgebung greift.

Wird das Bild der Fläche in der Ebene *c c* aufgefangen, wo die rothen und violetten Zerstreuungskreise gleich grofs sind, so werden die Farben bis zum Rande gleichmäfsig gemischt sein. Zerstreuungsbilder verschieben sich aber scheinbar, wie wir aus § 11 wissen, wenn man einen Schirm vor die Pupille schiebt, und zwar nach entgegengesetzten Richtungen, wenn sie, wie in unserem Falle das rothe und violette, das eine durch zu nahe, das andere durch zu weite Accommodation entstehen. Daher hört die Congruenz der farbigen Bilder auf und es werden farbige Ränder sichtbar.

Für das rothe Licht verhält sich die Fläche wie ein Gegenstand, der *130*
dem Auge zu nahe ist; ein solcher bewegt sich dem die Pupille verdeckenden Schirme scheinbar entgegen. Für das violette Licht verhält es sich umgekehrt. Verdeckt man also z. B. von unten her die Pupille, so verschiebt sich die rothe Fläche scheinbar nach unten, die violette nach oben; unten wird ein rother, oben ein violetter Rand sichtbar. Betrachtet man eine schmale roth-violette Linie durch einen schmalen Spalt, den man vor der Pupille hin und her bewegt, so gelingt es auch leicht, das rothe von dem violetten Bilde ganz getrennt sichtbar zu machen.

Wenn von dem leuchtenden Punkte *A Fig. 77* nicht blos rothes und violettes Licht, sondern aus allen Farben zusammengesetztes weifses Licht ausgeht, so schaltet sich das der übrigen Farben zwischen dem Roth und Violet ein, und die Wirkungen der Farbenzerstreuung sind weniger auffallend als wenn zwei Farben allein da sind. Wo wir in diesem Falle einen violetten Saum um ein purpurnes Feld hatten, erscheint jetzt das weifse Feld gesäumt mit weifslichem Blau, Indigblau, Violet, und da die weifslichen Töne des inneren Randes dieses Saumes sich nicht merklich vom Weifs der Mitte unterscheiden, erscheint der farbige Saum überhaupt schmaler. Wo bei dem Versuche mit den zwei Farben ein rother Saum um das purpurne Feld erschien, haben wir jetzt um das weifse Feld herum zuerst weifsliches Gelb, Orange, Roth, und wieder unterscheidet sich das weifsliche Gelb fast gar nicht von dem Weifs des Grundes.

Eine besondere Betrachtung verdient die Dispersion des weifsen Lichts noch für den Fall, wo die Netzhaut sich in der Ebene *c c* befindet, wo das Strahlenbündel seinen kleinsten Durchmesser hat. Roth und Violet bilden hier gleich grofse Zerstreuungskreise. Das mittlere Grün ist ganz in der Axe concentrirt, die übrigen Farben bilden kleinere Zerstreuungskreise. Der Zerstreuungskreis auf der Retina würde also am Rande gemischt aus Roth und Violet, d. h. purpurroth, in der Mitte grünlich erscheinen müssen. Indessen ist davon im Auge nichts zu sehen. Es sind nämlich gerade die lichtstärksten Farben Gelb und Grün bei dieser Stellung der Retina fast

genau in einen Punkt vereinigt, und der purpurne Rand ist zu schmal und verhältnifsmäfsig zu lichtschwach, um wahrgenommen zu werden.



Fig. 78.

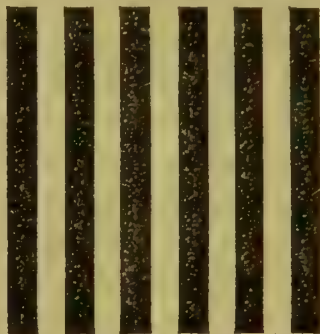


Fig. 79.



Fig. 80.

n Nach einer Bemerkung von Herrn W. v Bezold[1] sieht man die Wirkungen der Farbenzerstreuung im Auge aufserordentlich auffallend an Bildern wie *Fig. 78* und *79* zeigen, wenn man diese aus etwas zu grofser Entfernung, oder *Fig. 80* aus zu geringer Entfernnng für die Möglichkeit genaue Accommodation betrachtet. Die Erscheinungen vermischen sich übrigens mi denen des irregulären Astigmatismus, von denen im nächsten Paragraphe die Rede sein wird. Wenn man aus der Entfernung des Fernpunkts allmäli weiter abgeht, so werden zunächst die weifsen Streifen röthlich, während di dunklen von den bläulichen Zerstreuungskreisen übergossen werden. Dan kommt eine Entfernung, wo auf den schwarzen Streifen sich die blauen Ze streuungskreise der beiden benachbarten weifsen Streifen decken, und de halb auffallend hell werden. Später beginnt auch das Roth sich auszubreite und es kommt eine Entfernung, wo die dunklen Streifen auffallend roth e scheinen im Gegensatz zu dem stark verwaschenen bläulichen Weifs. D geschieht offenbar dann, wenn die Zerstreuungsbilder des Roth von beid Seiten auf dem Schwarz zusammentreffen, während die des bläulichen Wei dann schon über dem nächsten weifsen Streifen sich decken, und diesen n seinem geschwächten Roth wieder weifs machen.

130 Übrigens kann man alle die beschriebenen Erscheinungen ganz eben wie bei dem Auge, nur noch augenfälliger, an einem nicht achromatisirt Fernrohr wahrnehmen, wenn man eine stärkere Vergröfserung mit demselb erzeugt, als mit der Deutlichkeit des Bildes verträglich ist. In einem solch Fernrohre wird das von der Objectivlinse entworfene Bild nicht auf ein Schirme aufgefangen, wie im Auge auf der Netzhaut, sondern durch die v gröfsernden Ocularlinsen vom Beschauer betrachtet. Eine Vergröfserung

[1] W. v. Bezold, *Graefe's Archiv für Ophthalm.* XIV. (2). S. 1—29. Dort ist auch eine eingehe Theorie der Erscheinungen gegeben.

vom Objectivglase entworfenen Bildes mufs man aber anwenden, weil sonst die Farbensäume meist zu schmal sind, um deutlich gesehen zu werden. Auch hier sieht man, wenn das Fernrohr für einen entfernteren Gesichtspunkt eingerichtet ist, weifse Flächen roth und gelb gesäumt; ist es dagegen für einen näheren eingestellt, blau gesäumt. Bei der Einstellung, welche die schärfsten Bilder giebt, erscheinen sehr schmale purpurne Ränder. Verdeckt man eine Hälfte des Objectivs, so erscheinen an gegenüberliegenden Rändern *131*
der weifsen Flächen blaue und gelbe Ränder u. s. w., ganz wie unter analogen Verhältnissen im Auge.

Um die Gröfse der durch Dispersion im Auge erzeugten Zerstreuungskreise zu berechnen, können wir LISTING's reducirtes Auge und darin Wasser als brechende Flüssigkeit zu Grunde legen, da nach FRAUNHOFER's Messungen die farbenzerstreuende Kraft eines solchen Auges von der des menschlichen wenig abweichen würde. Es verhält sich *(Fig. 77)*

$$\frac{\gamma\gamma}{b_1 b_2} = \frac{\delta r}{fr} = \frac{\delta v}{fv}, \text{ also ist}$$

$$\gamma\gamma \cdot fr = b_1 b_2 \cdot \delta r$$

$$\gamma\gamma \cdot fv = b_1 b_2 \cdot \delta v. \text{ Beides addirt giebt}$$

$$\gamma\gamma \cdot [fr + fv] = b_1 b_2 \cdot [\delta r + \delta v]$$

$$= b_1 b_2 \cdot [fr - fv]$$

$$\gamma\gamma = b_1 b_2 \cdot \frac{fr - fv}{fr + fv}.$$

Setzen wir $b_1 b_2$, entsprechend dem mittleren Durchmesser der Pupille normaler Augen, gleich 4 mm, und weiter, wie oben gefunden ist,

$$fr = 20{,}574 \text{ mm},$$

$$fv = 20{,}140 \text{ mm},$$

$$\text{so wird } \gamma\gamma = 0{,}0426 \text{ mm}.$$

Nach der in § 11 gegebenen Tafel für die Gröfse der Zerstreuungskreise von Objecten, für welche das Auge nicht accommodirt ist, würde daher der Durchmesser $\gamma\gamma$ der durch die Dispersion bedingten Zerstreuungskreise ebenso grofs sein, wie der, den ein leuchtender Punkt 1,5 m ($4^3/_4$ Fufs) Entfernung in einem für unendliche Entfernung accommodirten Auge giebt. Eine solche Abweichung der Accommodation giebt bei der Betrachtung feinerer Gegenstände schon eine recht merkliche Ungenauigkeit des Bildes, wie man bei Anstellung eines entsprechenden Versuches leicht erkennt. Um zu erklären, warum die Dispersion des weifsen Lichts im Auge trotz der gleichen Gröfse der Zerstreuungskreise keine merkliche Ungenauigkeit des Bildes hervorbringt, mufs man nicht blos die Gröfse der Zerstreuungskreise, sondern auch die Vertheilung des Lichts in denselben berücksichtigen.

Wenn ein Lichtkegel von einem einfarbig leuchtenden Punkte in das Auge fällt, und die Netzhaut sich vor oder hinter dem Vereinigungspunkte der Strahlen befindet, so wird ein Zerstreuungskreis gebildet, der in allen seinen Theilen gleiche Helligkeit hat.

Wenn dagegen das Auge von einem Kegel weifsen Lichts getroffen wird, und sich die Netzhaut im Vereinigungspunkte der grüngelben Strahlen, welche die lichtstärksten sind,

befindet, so werden diese auf einen Punkt der Netzhaut vereinigt, während die übrigen Strahlen Zerstreuungskreise bilden, welche um so gröfser werden, je mehr ihre Brechbarkeit von der der mittleren Strahlen abweicht.

Während also der Mittelpunkt des beleuchteten Kreises von Strahlen aller Art gleichzeitig getroffen wird, und namentlich auch von den lichtstärksten und am meisten concentrirten Strahlen, fallen auf die dem Rande näher liegenden Theile des Kreises nur Strahlen von den äufsersten Farben des Spectrum, welche erstens an und für sich schon lichtschwächer sind als die mittleren, und zweitens dadurch, dafs sie ihr Licht über gröfsere Zerstreuungskreise vertheilen, noch mehr geschwächt sind. Die Rechnung ergiebt, dafs unter diesen Umständen die Helligkeit
132 im Mittelpunkte des Zerstreuungskreises unendlich grofs sein mufs gegen alle anderen Punkte des Kreises.

Da wir für das Gesetz der Helligkeit der einzelnen Farben des Spectrum noch keinen mathematischen Ausdruck angeben können, wollen wir die Rechnung unter der Annahme durchführen, dafs alle Farben des Spectrum gleiche Helligkeit haben. Dabei werden wir allerdings die Helligkeit der Ränder der Zerstreuungskreise gröfser finden, als sie in Wahrheit ist, aber es wird sich auch unter dieser für unseren Zweck ungünstigen Annahme zeigen, warum die durch Farbenzerstreuung bedingten Zerstreuungskreise eine weit geringere Undeutlichkeit des Bildes geben, als die durch mangelnde Accommodation bedingten von gleicher Gröfse.

Berechnung der Helligkeit in einem durch Dispersion erzeugten Zerstreuungskreise eines einzelnen leuchtenden Punktes.

Es sei in *Fig. 81* $b\,b$ die Hauptebene des reducirten Auges vom Radius R; in ihr möge, wie das beim Auge nahehin der Fall ist, die Blendung liegen, welche das Strahlenbündel begrenzt, so dafs $b\,b$ ein Durchmesser der Blendung ist, deren Halbmesser wir in der Rechnung mit b bezeichnen wollen. Die Strahlen, welche in das Auge fallen, mögen parallel sein. Es sei ferner v der Brennpunkt für die äufsersten violetten, w der für die äufsersten rothen Strahlen. Diese äufsersten Strahlen schneiden sich in g, so dafs $g\,g$ der Durchmesser des ganzen Zerstreuungskreises und h sein Mittelpunkt ist. Die Netzhaut mufs sich in der Ebene $g\,g$ befinden, wenn sie das deutlichste Bild aufnehmen soll. Das Brechungsverhältnifs der mittleren Strahlen, die sich in h vereinigen, nennen wir N, ihre Brennweite $a\,h$ sei F. Dann ist nach § 9 Gleichung 3a)

Fig. 81.

$$F = \frac{N.R}{N-1} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 1a$$

Das Brechungsverhältnifs irgend einer anderen Art von Strahlen, welche ihren Brennpunkt in x haben, sei n, die zugehörige Brennweite $a\,x$ gleich f. Dann ist

$$f = \frac{n.R}{n-1} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 1b$$

Den Radius des Zerstreuungskreises, den diese Strahlen geben, $h\,y$, nennen wir ϱ. Er ist gegeben durch die Gleichung

$$\frac{\varrho}{b} = \frac{f-F}{f},$$

wenn $f > F$, also $n < N$, oder durch

$$\frac{\varrho}{b} = \frac{F-f}{f},$$

wenn $f < F$, also $n > N$. Setzen wir hierin aus 1a) und 1b) die Werthe von F und f, so erhalten wir

$$\frac{\varrho}{b} = \frac{N-n}{n.(N-1)} \quad \text{. . . . . 2a)},$$

wenn $n < N$, und

$$\frac{\varrho}{b} = \frac{n-N}{n.(N-1)} \quad \text{. . . . . 2b)},$$

wenn $n > N$.

Die Helligkeit H nun, mit welcher die Farbe von dem Brechungsverhältnifs n die Netzhaut beleuchtet, ist 133

$$H = A . \frac{b^2}{\varrho^2} \quad \text{. . . . . 3)},$$

wenn wir die Helligkeit mit A bezeichnen, mit welcher das betreffende Licht die Fläche $b\,b$ beleuchtet. Setzen wir in 3) statt $\frac{b}{\varrho}$ aus 2a) oder 2b) seinen Werth, so erhalten wir übereinstimmend:

$$H = A . \frac{n^2.(N-1)^2}{(n-N)^2} \quad \text{. . . . . 3a)}.$$

Die Helligkeit J irgend eines Punktes im Zerstreuungskreise wird nun werden

$$J = \int H . d\,n \quad \text{. . . . . 4)},$$

wobei wir das Integral über alle diejenigen Werthe von n auszudehnen haben, deren zugehörige Farben auf jenen Punkt fallen.

In dem Ausdrucke für H ist der Factor A in Wirklichkeit eine Function von n, deren mathematischen Ausdruck wir aber nicht kennen. Der Factor n^2 verändert in der ganzen Ausdehnung des Spectrum seinen Werth sehr wenig. Wir wollen deshalb setzen

$$A . n^2 . (N-1)^2 = B$$

und B als constant ansehen, d. h. annehmen, dafs die Helligkeit der Spectralfarben durch die ganze Ausdehnung des Spectrums nahehin constant sei, und nur wenig vom rothen zum violetten Ende hin abnehme. Diese Annahme ist für unseren Zweck jedenfalls ungünstiger als die Wirklichkeit. Dann wird nach 4)

$$J = \int \frac{B.d\,n}{(N-n)^2} \quad \text{. . . . . 4a)}$$

zwischen den gehörigen Grenzen genommen. Es fallen aber auf jeden Punkt des Zerstreuungskreises erstens Strahlen aus dem rothen, und zweitens Strahlen aus dem violetten Theile des Spectrums. Die Grenzen der Brechbarkeit für die ersteren seien n_1 und n_2, so dafs

$$N > n_2 > n_1,$$

die Grenzen für die letzteren seien n_3 und n_4, so dafs

$$n_4 > n_3 > N$$

Dann wird die Gleichung 4a)

$$J = B\int_{n_1}^{n_2} \frac{d\,n}{(N-n)^2} + B\int_{n_3}^{n_4} \frac{d\,n}{(N-n)^2}$$

$$= B\left\{\frac{1}{N-n_2} - \frac{1}{N-n_1} + \frac{1}{N-n_4} - \frac{1}{N-n_3}\right\} \quad . \quad . \quad 4\text{b}).$$

Ist nun ϱ_0 die Entfernung des Punktes, dessen Helligkeit wir bestimmen wollen, vom Mittelpunkte des Zerstreuungskreises, so wird dieser Punkt von allen denjenigen Farben getroffen, für welche die Radien der Zerstreuungskreise gröfser sind als ϱ_0, also zwischen ϱ_0 und $r = {}^1\!/_2\, gg$ liegen. Nun ist für die weniger brechbaren Farben, wenn wir aus Gleichung 2a) den Werth von $N - n$ bestimmen,

$$\frac{1}{N-n} = \frac{1}{N} + \frac{1}{N.(N-1)} \cdot \frac{b}{\varrho}.$$

134 Für $n = n_1$ ist $\varrho = r$, für $n = n_2$ ist $\varrho = \varrho_0$, also

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{N-n_1} &= \frac{1}{N} + \frac{1}{(N-1).N} \cdot \frac{b}{r} \\ \frac{1}{N-n_2} &= \frac{1}{N} + \frac{1}{(N-1).N} \cdot \frac{b}{\varrho_0} \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4\text{c}).$$

Für die Bestimmung von n_3 und n_4 müssen wir den Werth von $N - n$ aus Gleichung 2b) entnehmen.

$$\frac{1}{N-n} = \frac{1}{N} - \frac{1}{N.(N-1)} \cdot \frac{b}{\varrho}.$$

Für $n = n_4$ wird $\varrho = r$, und für $n = n_3$ wird $\varrho = \varrho_0$, also

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{N-n_4} &= \frac{1}{N} - \frac{1}{N.(N-1)} \cdot \frac{b}{r} \\ \frac{1}{N-n_3} &= \frac{1}{N} - \frac{1}{N.(N-1)} \cdot \frac{b}{\varrho_0} \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4\text{d}).$$

Setzen wir die Werthe aus 4c) und 4d) in 4b), so erhalten wir endlich

$$J = \frac{2\,B}{N.(N-1)} \left\{\frac{b}{\varrho_0} - \frac{b}{r}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5).$$

Dieser Werth von J wird in der Mitte des Zerstreuungskreises für $\varrho_0 = 0$ unendlich grofs, am Rande, wo $\varrho_0 = r$, gleich 0.

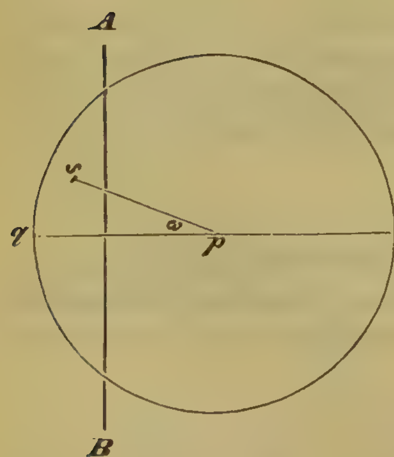


Fig. 82.

Berechnung der Helligkeit am Rande einer gleichmäfsig erleuchteten Fläche. Es sei in *Fig. 82* AB die Grenzlinie einer links von ihr liegenden leuchtenden Fläche, und angenommen, dafs jeder Punkt derselben als Zerstreuungskreis erscheine. Es sei ferner p der Punkt, dessen Helligkeit bestimmt werden soll, und $pq = r$ der Radius der Zerstreuungskreise. Es wird auf p Licht gelangen aus allen denjenigen Punkten der Fläche, welche innerhalb des mit dem Radius r um p geschlagenen Kreises liegen. Wenn s einer dieser Punkte ist, und wir die Länge sp mit ϱ

den Winkel spq mit ω, und die Helligkeit des Zerstreuungskreises eines einzelnen Punktes in der Entfernung ϱ vom Centrum mit J bezeichnen, so wird die Helligkeit H im Punkte p werden:

$$H = \iint J . \varrho . d\omega . d\varrho, \quad \ldots \ldots \ldots \quad 6),$$

dieses Integral ausgedehnt über alle Theile der Fläche, welche innerhalb des um p geschlagenen Kreises liegen.

Wenn der Rand der Fläche eine gerade Linie und der Abstand des Punktes s von diesem Rande gleich x ist, so ist für die am Rande gelegenen Punkte der Fläche

$$\varrho . \cos\, \omega = x$$

und wenn wir den Ausdruck für H zuerst nach ω integriren, und aus der letzten Gleichung den Werth für die Grenzen von ω entnehmen,

$$H = \int_x^r 2\, J . \varrho . \mathit{arc.cos} \left(\frac{x}{\varrho}\right) . d\,\varrho, \quad \ldots \ldots \quad 6a).$$

Wenn die Zerstreuungskreise durch unpassende Accommodation entstehen, 135
können wir J als unabhängig von ϱ betrachten und erhalten dann:

$$H = J \left[r^2 . \mathit{arc.cos} \left(\frac{x}{r}\right) - x . \sqrt{r^2 - x^2} \right], \quad \ldots \quad 7),$$

welche Gleichung für diesen Fall die Helligkeit in der Nähe des Randes der Fläche als Function des Abstandes vom Rande giebt. Für $x = r$ wird $H = 0$, für $x = -r$ wird $H = Jr^2\pi$ und geht hier in die constante Helligkeit der Fläche über.

Wenn die Zerstreuungskreise durch Dispersion entstanden sind, können wir in Gleichung 6a) den Werth von J aus Gleichung 5) setzen, und erhalten durch Ausführung der Integration:

$$H = \frac{2\, B . b}{N . (N-1)} . \left\{ r . \mathit{arc.cos} \left(\frac{x}{r}\right) + \frac{x}{r} \sqrt{r^2 - x^2} + x . \mathit{log.nat.} \left(\frac{r - \sqrt{r^2 - x^2}}{r + \sqrt{r^2 - x^2}} \right) \right\} \quad 8).$$

Für $x = r$ wird $H = 0$, für $x = -r$ wird

$$H = \frac{2\, B . b . r . \pi}{N . (N-1)}$$

und geht hier in die constante Helligkeit des mittleren Theils der Fläche über.

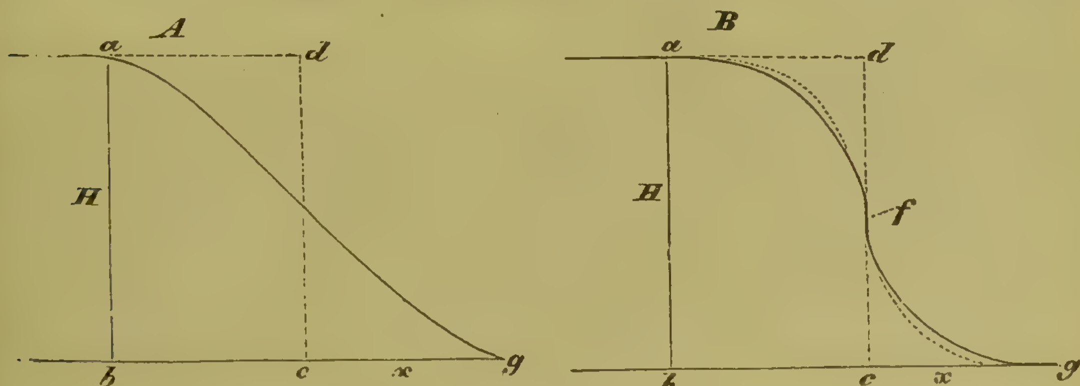


Fig. 83.

Um den Gang dieser Functionen übersichtlicher darzustellen, habe ich in *Fig. 83* die beiden Curven construirt. A entspricht der Gleichung 7), B der Gleichung 8).

In beiden sind die Werthe von x in horizontaler, die Werthe der Helligkeit H in verticaler Richtung aufgetragen. Die Ordinate ab entspricht der Helligkeit in der Mitte der Fläche, c bezeichnet den Ort des Randes, so dafs die Linie adc die Helligkeit eines ganz scharfen Bildes bezeichnen würde. Die Grenzen des Zerstreuungskreises von c sind a und g. Die Curve B zeichnet sich dadurch vor der anderen aus, dafs sie in ihrer Mitte bei f, entsprechend dem wirklichen Orte des Randes, ganz senkrecht abfällt. Es wird hier für $x = 0$ nämlich der Differentialquotient

$$\frac{dH}{db} = \frac{2B.b}{N.(N-1)} \cdot \left\{ \frac{2}{r} \cdot \sqrt{r^2 - x^2} + log.\, nat. \left[\frac{r - \sqrt{r^2 - x^2}}{r + \sqrt{r^2 - x^2}} \right] \right\} \quad . \; . \; . \; 9)$$

unendlich grofs. Dieser plötzliche Abfall der Helligkeit am Rande der Fläche macht für das Auge die Lage des Randes scharf erkennbar, wenn auch eine gewisse Menge Licht sich noch weiter verbreitet, während in der Curve A die Abnahme der Helligkeit ziemlich gleichmäfsig stattfindet, und der Ort des Randes durch kein besonderes Kennzeichen ausgezeichnet ist.

Wenn man die nach den Enden des Spectrum abnehmende Helligkeit der
136 Farben in Rechnung ziehen könnte, so würde die Curve B etwa die Form der punktirten Linie bekommen müssen. Die Helligkeit innerhalb der Grenzen der Fläche würde sich der normalen noch mehr nähern, und aufserhalb dieser Grenzen würde sie noch geringer werden.

Aus diesen Verhältnissen erklärt es sich, warum die Farbenzerstreuung der Bilder im Auge der Schärfe des Sehens so wenig Eintrag thut. Ich habe mir Linsen zusammengestellt, welche im Stande waren, das Auge achromatisch zu machen, aber nicht gefunden, dafs die Schärfe des Gesichts dadurch merklich erhöht wurde. Ich fand zu dem Ende eine concave Flintglaslinse von 15,4 mm Brennweite, von einem Objectivglase eines Mikroskops genommen, passend. Diese setzte ich zusammen mit convexen Crownglaslinsen, so dafs dadurch ein System von etwa 2½ Fufs negativer Brennweite entstand, wie es für mein Auge pafste, um ferne Gegenstände gut zu erkennen. Wenn ich durch dieses System sah, und die halbe Pupille verdeckte, entstanden keine farbigen Ränder an der Grenze dunkler und heller Gegenstände mehr. Ebenso wenig entstanden dergleichen bei unpassender Accommodation des Auges, so dafs das Auge durch dieses Linsensystem wirklich achromatisch gemacht war. Ich konnte aber nicht finden, dafs die Schärfe des Sehens in irgend merkbarer Weise zugenommen hätte.

Newton kannte schon die Farbenzerstreuung im Auge; er erwähnt die Farbenränder, welche bei halbverdeckter Pupille erscheinen[1]. Es ist bekannt, dafs Newton, weil er irrthümlich voraussetzte, die Dispersion aller durchsichtigen Mittel sei ihrer Brechkraft proportional, zu dem Schlusse kam, dafs es keine achromatischen Linsensysteme geben könne. Wunderlicher Weise fand Euler[2] in dieser Beziehung das Richtigere, indem er jedoch dabei von der anderen falschen thatsächlichen Voraussetzung ausging, dafs das Auge achromatisch sei, und daraus folgerte, dafs Newton's Annahme über die Dispersion falsch sein müsse. Ihm widersprach in dieser Beziehung d'Alembert[3], indem er nachwies, dafs im Auge die Farbenzerstreuung nicht merklich zu werden brauche, selbst wenn sie ebenso grofs wie in Gläsern sei. Ebenso widersprach Dollond[4], welcher behauptete, dafs trotz der Anwendung verschiedener brechender Substanzen im Auge es

[1] J. Newton, *Optice.* Lib. I. P. II. Prop. VIII.
[2] L. Euler, *Journal Encyclop.* 1767. II. p. 146. — *Mém. de l'Acad. de Berlin.* 1747.
[3] J. L. d'Alembert, *Mém. de l'Acad. de Paris.* 1767. p. 81.
[4] J. Dollond, *Philos. Trans.* T. LXXIX. p. 256.

nicht achromatisch sein könne, da alle einzelnen Brechungen der Lichtstrahlen nach der Axe zu gingen. Wenn wir das für farblos durchsichtige Mittel bisher stets bestätigte Gesetz als allgemeingültig ansehen, dafs bei jeder Brechung des Lichts an der Grenzfläche von zwei ungefärbt durchsichtigen Substanzen die violetten Strahlen stärker gebrochen werden als die rothen, so ist DOLLOND's Beweisführung gültig. Dann mufs nämlich im Auge jedenfalls bei jeder Brechung das violette Licht sich der Axe mehr nähern als das rothe. MASKELYNE[1] hat auch Messungen der Farbenzerstreuung gemacht und gefunden, dafs das Intervall der Brennpunkte 0,02 Zoll (0,61 mm) betrage, was einem Gesichtswinkel von 25 Sec. entspreche, während man in Fernröhren sie noch bis zu einem Gesichtswinkel von 57 Sec. zulässig finde. JURIN[2] hat die farbigen Ränder unbestimmt gesehener Objecte bemerkt. WOLLASTON[3] machte auf das eigenthümliche Aussehen des prismatischen Spectrum aufmerksam, welches von der Unfähigkeit des Auges, sich für alle Farben gleichzeitig zu accommodiren, herrührt. Eine vollständige Theorie der Erscheinungen bei halbverdeckter Pupille gab MOLLWEIDE[4], eine vollständige Bearbeitung sämmtlicher hierher gehörigen Erscheinungen TOURTUAL. Die ersten genauen Messungen der Farbenzerstreuung des Auges stellte FRAUNHOFER[5] an, mit Berücksichtigung der von WOLLASTON und ihm entdeckten festen Linien im Spectrum, spätere MATTHIESSEN[6].

Trotz aller dieser Untersuchungen hielten manche Naturforscher doch die Idee *137*
von der absoluten Vollkommenheit des Auges und somit auch seiner mehr oder weniger vollkommenen Achromasie fest, wie FORBES[7], VALLÉE[8].

§ 14. Astigmatismus.

Ausser der Ungenauigkeit des Bildchens, welche durch die ungleiche Brechung verschiedenfarbiger Lichtstrahlen bedingt ist, kommt bei den optischen Instrumenten, welche Glaslinsen mit sphärischen Flächen enthalten, noch eine zweite Art der Abweichung vor, die Abweichung wegen der Kugelgestalt oder sphärische Aberration, welche darin besteht, dafs auch Lichtstrahlen von gleicher Farbe, die von einem Punkte ausgehen, von krummen Flächen im Allgemeinen nicht genau, sondern nur annähernd in einen Punkt wieder vereinigt werden. Wir wollen diese monochromatische Abweichungen nennen. Es giebt allerdings gewisse krumme Flächen, welche die Lichtstrahlen, die von einem bestimmten leuchtenden Punkte ausgehen, ganz genau in einen Punkt wieder vereinigen (aplanatische Flächen). Es sind dies Rotationsflächen, deren Erzeugungscurve im Allgemeinen durch eine Gleichung vierten Grades gegeben wird. In gewissen Fällen aber, z. B. wenn der leuchtende Punkt in unendlicher Entfernung liegt, ist die Erzeugungscurve eine Ellipse. Auch kann in Systemen von kugeligen brechenden Flächen durch eine passende Combination der Krümmungsradien und Abstände der Flächen die Kugelabweichung auf ein Minimum gebracht werden. Auch solche Systeme nennt man aplanatisch. Übrigens ist natürlich der

---

1 N. MASKELYNE, *Philos. Trans.* LXXIX. 258. 1789.
2 J. JURIN, *Smith's Optics.* 96.
3 WOLLASTON, *Philos. Trans.* 1801. P. I. p. 50.
4 K. B. MOLLWEIDE, *Gilbert's Annalen.* XVII. 328. 1804 und XXX. 220. 1808.
5 J. FRAUNHOFER, *Gilbert's Annalen.* LVI. 304. — *Schuhmacher's astronom. Abhandlgn.* Heft II. S. 39.
6 MATTHIESSEN, *Comptes rendus.* XXIV. 875.
7 J. D. FORBES, *Roy. Edinb. Soc.* XVI. 1849. p. 251.
8 L. L. VALLÉE, *Comptes rendus.* XXIV. 1096. XXXIV. 321.

Zerstreuungskreis, den das Bild eines in der optischen Axe eines solchen Systems liegenden leuchtenden Punktes bildet, rings um die Axe symmetrisch. Er bildet einen hellen Fleck, dessen Helligkeit in der Axe am stärksten ist, und von da nach allen Seiten hin schnell abnimmt.

Die im Auge vorkommenden monochromatischen Abweichungen sind nicht, wie die sphärische Aberration der Glaslinsen, symmetrisch um eine Axe, sie sind vielmehr unsymmetrisch und von einer Art, wie sie bei gut
138 gearbeiteten optischen Instrumenten nicht vorkommen darf.

Die Erscheinungen sind folgende: 1) Man wähle zuerst als Object einen sehr kleinen leuchtenden Punkt (ein mit einer Nadel gestochenes Löchelchen in schwarzem, undurchsichtigem Papier, durch welches Licht fällt) und bringe ihn, nöthigenfalls unter Anwendung eines convexen Brillenglases, in eine etwas gröſsere Entfernung als die gröſste Accommodationsdistanz, so daſs auf der Netzhaut ein kleiner Zerstreuungskreis entsteht. Man sieht alsdann statt des hellen Punktes nicht, wie es in einem schlecht eingestellten Fernrohre der Fall ist, eine kreisförmige Fläche, sondern eine strahlige Figur von vier bis acht unregelmäſsigen Strahlen, welche in beiden Augen verschieden zu sein pflegt und auch für verschiedene Menschen verschieden ist. Ich habe in *Fig. 84 a* die aus meinem rechten, in *b* die aus meinem linken Auge abgebildet. Die nach der Peripherie gekehrten Ränder der hellen Partien eines von weiſsem Lichte entworfenen Zerstreunngsbildes dieser Art sind blau gesäumt, die dem Centrum zugekehrten rothgelb. Die Figur scheint bei den meisten Menschen in der Richtung von oben nach unten länger zu sein als von rechts nach links. Ist das Licht schwach, so kommen nur die hellsten Stellen der Strahlenfigur zur Wahrnehmung, und man sieht mehrere Bilder des hellen Punktes, von denen gewöhnlich eines heller ist als die andern.

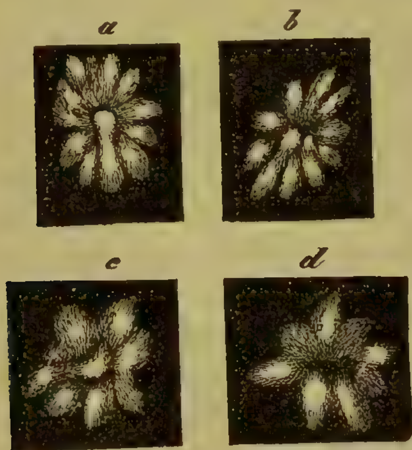


Fig. 84.

Ist das Licht dagegen sehr stark, läſst man z. B. directes Sonnenlicht durch eine feine Öffnung fallen, so flieſsen die Strahlen des Sterns in einander, rings umher entsteht auſserdem ein aus unzähligen, äuſserst feinen und bunt gefärbten Linien bestehender Strahlenkranz von viel gröſserer Ausdehnung, den wir unter dem Namen des Haarstrahlenkranzes von dem sternförmigen Zerstreuungsbilde unterscheiden wollen.

Hat man die sternförmige Figur oder bei schwächerem Lichte die mehrfachen Bilder des leuchtenden Punktes vor sich, und schiebt ein undurchsichtiges Blatt von unten her vor das Auge, so schwindet zuerst der scheinbar untere Theil des Zerstreuungsbildes, also der obere Theil des entsprechenden Netzhautbildchens. Schiebt man das Blatt von oben, von rechts oder links vor das Auge, so schwindet dem entsprechend immer der obere, rechte oder linke Theil des Zerstreuungsbildes.

Anders verhält sich der ausgedehntere Haarstrahlenkranz, den sehr intensives Licht erregt. Wenn man die Pupille von unten her verdeckt, verschwindet keineswegs der untere Theil dieses Kranzes, sondern nur der untere Theil des centralen hellen Sterns. Die Erscheinung wird aber da- 139
durch gestört und verändert, dafs sehr lebhafte Diffractionsbilder sich entwickeln, welche von der verengerten und veränderten Gestalt der Pupille bedingt sind.

Die strahlige Gestalt der Sterne und ferner Laternen gehört mit zu diesen Erscheinungen.

2) Ist umgekehrt das Auge für eine gröfsere Entfernung als die des leuchtenden Punktes accommodirt (zu welchem Zwecke man bei fernen leuchtenden Punkten eine schwache Concavlinse vor das Auge bringen kann), so erscheint eine andere strahlenförmige Figur (*Fig. 84 c* aus meinem rechten, *d* aus meinem linken Auge), deren gröfsere Ausdehnung meist horizontal ist. Verdeckt man die Pupille von einer Seite her, so schwindet die entgegengesetzte Seite des vom Beobachter gesehenen Zerstreuungsbildes, d. h. die der verdeckten Hälfte der Pupille gleichseitigen Theile des Netzhautbildes. Diese Figur wird also von Strahlen gebildet, welche die Axe des Auges noch nicht geschnitten haben. Wenn sich Thränenflüssigkeit über das Auge verbreitet hat, oder durch häufiges Blinzeln mit den Lidern Fetttröpfchen aus den Meibom'schen Drüsen auf die Hornhaut gekommen sind, ist die Strahlenfigur meist gröfser, unregelmäfsiger, wird durch Blinzeln bedeutend verändert, und wenn man die Pupille von der Seite her verdeckt, verschwindet dadurch nicht blos eine Seite der Strahlenfigur.

3) Bringt man den leuchtenden Punkt in eine solche Entfernung, dafs man das Auge für sie accommodiren kann, so sieht man bei mäfsigem Lichte einen kleinen rundlichen hellen Fleck ohne Unregelmäfsigkeiten. Bei stärkerem Lichte dagegen bleibt sein Bild bei jeder Weise der Accommodation strahlig, und man findet bei allmäligen Accommodationsänderungen nur, dafs die vertical verlängerte Strahlenfigur, welche bei kürzerer Sehweite vorhanden ist, sich verkleinert, rundlicher wird und dann in die horizontal verlängerte Strahlenfigur übergeht, die einer gröfseren Sehweite angehört.

4) Wenn man eine feine Lichtlinie betrachtet, kann man sich die Erscheinungen, welche entstehen, leicht dadurch im Voraus entwickeln, dafs man die strahligen Zerstreuungsbilder für alle einzelnen Punkte der Linie construirt denkt, die sich nun zum Theile decken. Die helleren Theile der Zerstreuungsbilder fliefsen dann zu Lichtlinien zusammen, welche als mehrfache Bilder der hellen Linie erscheinen. Die meisten Augen sehen zwei, manche in gewissen Lagen fünf oder sechs solche Doppelbilder.

Um den Zusammenhang der Doppelbilder von Linien mit den strahligen Bildern von Punkten gleich durch den Versuch anschaulich zu machen, schneide man in ein dunkles Papierblatt eine feine gerade Spalte, und ein wenig von deren Ende entfernt, in der Richtung ihrer Verlängerung, steche man ein rundes Löchelchen ein, wie *Fig. 85 a.* Von Ferne sehend, be-

merkt man dann, dafs die Doppelbilder der Linie genau denselben Abstand von einander haben, wie die hellsten Stellen der strahlenförmigen Zerstreuungsfigur des Punktes, und dafs letztere in der Verlängerung der ersteren liegen, wie in *Fig. 85 b*, wo in der Zerstreuungs-
140 figur des hellen Punktes nur die hellsten Theile des Sterns, *Fig. 84 a*, sichtbar sind.



Fig. 85.

Hierher gehören die mehrfachen Bilder, welche die meisten Augen von den Hörnern der Mondsichel sehen. Diese Erscheinung wird Polyopia monocularis (oder monophthalmica) genannt.

An den Grenzen heller Flächen, für welche das Auge nicht ganz vollkommen accommodirt ist, machen sich die Doppelbilder auch mitunter dadurch bemerklich, dafs am Rande der hellen Fläche der Übergang von Helligkeit zu Dunkel in zwei oder drei Absätzen geschieht.

Weitere hierher gehörige Erscheinungen folgen unten bei der Lehre von der Irradiation.

Dafs die beschriebenen Erscheinungen von einer Asymmetrie des Auges herrühren, ist zunächst klar. Ein optisches Instrument, welches um seine Axe ringsum symmetrisch gebaut ist, kann für einen in der Axe liegenden Lichtpunkt allerdings Zerstreuungsfiguren entwerfen, die aber selbst symmetrisch gegen die Axe und kreisförmig gebildet sein müssen.

Was zunächst die strahlige Bildung der kleineren Zerstreuungskreise betrifft, so müssen wir trennen, was davon dauernd ist und jeder Zeit bei
141 reiner Hornhaut wieder erscheint, und andererseits den Theil der Erscheinung, der durch Thränenflufs und Blinzeln der Augenlider verändert wird. Der letztere Theil rührt offenbar her von Tropfen wässriger oder fetter Flüssigkeit, oder von Unreinigkeiten, die sich auf der Hornhaut angesammelt haben. Man kann diese Erscheinungen nachahmen, wie A. Fick gezeigt hat, wenn man mit einer Glaslinse, auf deren Oberfläche man Wassertropfen ausgebreitet hat, das Bild eines hellen Punktes entwirft.

Dergleichen vergängliche Erscheinungen kommen in den Strahlenfiguren meiner eigenen Augen seltener vor, vielmehr sehe ich gewöhnlich immer dieselben Figuren wieder, welche ich oben in *Fig. 84 a* bis *b* abgebildet habe und welche durch ihre strahlige Form wohl zunächst an den strahligen Bau der Linse erinnern. In der That konnte ich mich überzeugen, dafs die wesentlichsten Züge dieser Strahlenfiguren von Unregelmäfsigkeiten der Linse herrühren, indem ich die feine Öffnung, durch welche das Licht fiel, sehr nahe an das Auge brachte; dann sieht man in dem Zerstreuungskreise die sogenannten entoptischen Erscheinungen, welche im nächsten Paragraphen beschrieben werden sollen. Dort wird auch gezeigt werden, in welcher Weise man eine sichere Kenntnifs von dem Orte der Objecte im Auge erhalten kann, welche diese Erscheinungen veranlassen. Es fand sich nun, dafs gewisse helle und dunkle Streifen, welche dem entoptischen Bilde der

[1] S. oben Seite 39. Fig. 28.

Linse angehörten, bei allmälig steigender Entfernung der Öffnung vom Auge übergingen in die hellen und dunklen Flecken und Streifen der in *Fig. 84 c* und *d* abgebildeten Sternfiguren. Abbildungen dieses Übergangs hat schon TH. YOUNG[1] gegeben.

Neuere Untersuchungen an Augen, deren Linse durch Staaroperation entfernt worden ist, zeigen, dafs diese Augen in der That die sternförmige Bildung der kleinen Zerstreuungskreise nicht zeigen, sondern nur die später zu beschreibenden elliptischen Formen derselben. Ausnahmsweise aber trägt auch die Hornhaut zu diesen Unregelmäfsigkeiten bei, wenn sie kegelförmige Erhebungen oder Geschwürsnarben hat.

DONDERS[2] hat die Erscheinungen, welche jeder einzelne Sector der Krystallinse hervorbringt, dadurch zu isoliren gesucht, dafs er einen Schirm mit sehr kleiner Öffnung vor dem Auge herumführte, so dafs das Licht bald durch den einen, bald durch den andern Sector der Linse einfiel. Es zeigte sich, dafs jeder einzelne Sector die Strahlen nahehin in einen Punkt vereinigt, dafs aber die Brennpunkte der verschiedenen Strahlen nicht zusammenfallen. Dabei ist aber auch die Vereinigung der Strahlen durch jeden einzelnen Sector nicht ganz genau, sondern die der Augenaxe näheren scheinen einen entfernteren Vereinigungspunkt zu haben, als die peripherisch einfallenden Strahlen. Daher drängen sich in dem Zerstreuungskreis jedes Sectors die Strahlen gegen die Peripherie hin zusammen, ehe der Ort der engsten Vereinigung erreicht ist, und nachher an der centralen Seite des Zerstreuungskreises.

Optische Systeme, welche solche Abweichungen zeigen, wie wir sie hier für das Auge beschrieben haben, können überhaupt an keiner Stelle homocentrische Strahlen wieder in einen Brennpunkt vereinigen. WHEWELL hat dafür den Namen des Astigmatismus vorgeschlagen (α privativum und στίγμα, von στίζω, pungo, d. h. „ohne Brennpunkt"). Die bisher beschriebene Bildung unregelmäfsig sternförmiger Zerstreuungskreise, wie sie sich bei stärkeren Abweichungen der Accommodation zeigen, bezeichnete DONDERS als den irregulären Astigmatismus. Theoretisch sind diese Erscheinungen wichtig, weil sie am deutlichsten die Art des Vorgangs erkennen lassen. Für das Sehen wichtiger sind dagegen diejenigen Unregelmäfsigkeiten, welche bei möglichst guter Accommodation stehen bleiben. In diesen spricht sich meist nur noch die schon in den *Figuren 84 a—d* hervortretende Verlängerung der Zerstreuungskreise bald in der einen, bald in der andern Richtung aus. Es sind dies die Erscheinungen, die von DONDERS mit dem Namen des regulären Astigmatismus belegt worden sind.

Dieselben können auch an andern gekrümmten brechenden Flächen beobachtet werden, wenn entweder die Strahlen zwar nahehin senkrecht auf die brechende Fläche fallen, diese aber nicht kugelig gekrümmt ist, sondern

[1] TH. YOUNG, *Philos. Transact.* 1801. I. pl. VI.

[2] F. C. DONDERS, *Arch. f. Ophthalm.* VII. (1.) S. 185—241. 1861; ebenda X. (2.) S. 83—108. 1864. Derselbe. *Astigmatismus und cylindrische Gläser.* Berlin 1862. — *Anomalies of accommodation and refraction.* London 1864. p. 449—556.

in verschiedenen durch das Einfallsloth gelegten Schnittebenen verschieden gekrümmte Schnittlinien bildet; oder wenn die Fläche zwar kugelig gekrümmt ist, aber die Strahlen unter grofsen Einfallswinkeln auffallen. Selbst ebene Flächen können dünne Strahlenbündel, welche sehr schräg hindurchgehen und stark divergiren, astigmatisch machen. Überhaupt ist Astigmatismus der gebrochenen und gespiegelten Strahlen eigentlich der allgemeinere Fall, und die Homocentricität derselben nur als die unter besonderen Bedingungen eintretende Ausnahme zu betrachten.

Die Eigenthümlichkeit eines dünnen astigmatischen Strahlenbündels besteht darin, dafs es nicht in einem einzigen Punkte, sondern in zwei verschieden weit vom Ursprunge der Strahlen entfernten, gegen die Axe des Bündels und gegen einander senkrechten kleinen Brennlinien vereinigt wird. Der deutlicheren Beschreibung wegen wollen wir annehmen, dafs die Strahlen in horizontaler Richtung fortgehen, eine kreisförmige Öffnung passiren, welche das Bündel abgrenzt, und dafs die erste und nähere Brennlinie horizontal, die andere vertical liege. In *Fig. 86* sei *cd* die Richtung, in der sich das Strahlenbündel fortpflanzt. Die darunter gesetzten dunklen Flecke zeigen die Form der Querschnitte, welche es in den darüber stehenden Punkten von *cd* annimmt. In *c* sei das kreisförmige Diaphragma; die

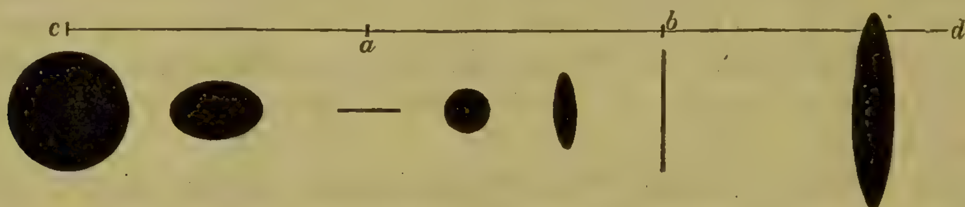


Fig. 86.

Strahlen convergiren, aber sie convergiren von oben nach unten schneller als von rechts nach links. Die Querschnitte werden quer verlängerte Ellipsen, endlich bei *a* eine begrenzte gerade Linie. Dort schneiden sich die Strahlen von oben nach unten; in Folge dessen verlängert sich die kürzere Verticalaxe der Ellipse wieder, während die Horizontalaxe noch fortfährt abzunehmen. Der Querschnitt wird also wieder eine quer verlängerte Ellipse, dann ein Kreis, dann eine senkrecht verlängerte Ellipse, endlich eine verticale begrenzte gerade Linie, in der der Querdurchmesser der Ellipse ganz geschwunden ist, und die Strahlen sich nun auch von rechts nach links schneiden. Von da ab erweitern sich beide Axen der Ellipse wieder; die horizontale ist zunächst immer noch die kleinere; in grofser Entfernung aber nähert sich der Querschnitt wieder einem Kreise mehr und mehr.

In einem solchen Bündel geschieht also die Durchkreuzung der Strahlen von oben nach unten nicht an derselben Stelle, wie von rechts nach links.

Wenn das leuchtende Objekt nicht ein einzelner leuchtender Punkt, sondern eine feine Horizontallinie ist, so würde dieselbe an der Stelle *a* in *Fig. 86* noch vollkommen scharf gesehen werden können, da die Zerstreuung des Lichts jedes einzelnen leuchtenden Punktes nur in Richtung der Lichtlinie geschieht. Dagegen müsste eine solche in *b* undeutlich erscheinen, und ein

lichtes Band von einer gewissen Breite bilden. Umgekehrt würde eine lichte Verticallinie in *b* deutlich, in *a* undeutlich erscheinen. Ein astigmatisches Auge ist also im Allgemeinen nicht gleichzeitig für horizontale *140* und verticale Linien, welche sich in gleicher Entfernung von ihm befinden, accommodirt. Man betrachte aufmerksam eine Anzahl gerader Linien, die sich in einem Punkte schneiden, wie *Fig. 87* in einer Entfernung, für welche man gut accommodiren kann. Man wird bemerken, dafs man sie nach einander alle scharf begrenzt und dunkel schwarz sehen kann, während man aber eine von ihnen scharf sieht, sind im Allgemeinen die anderen nicht scharf. Ist man darin geübt, sich der Accommodationsänderungen seines Auges bewufst zu werden, so bemerkt man in der Regel, dafs das Auge eine gröfsere Sehweite annimmt, um die seinem horizontalen Durchmesser parallelen Linien deutlich zu sehen, mehr für die Nähe dagegen accommodirt, um die senkrechten zu sehen.

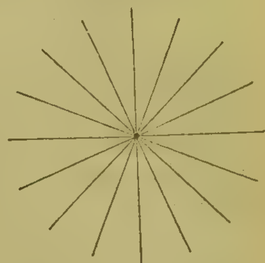


Fig. 87.

Man mufs deshalb eine verticale Linie weiter vom Auge entfernen als eine horizontale, wenn man sie beide zu gleicher Zeit deutlich sehen will. Ad. Fick sah verticale Linien in 4,6 Mt. Entfernung deutlich, und zugleich horizontale in 3 Mt., ich selbst zu verticalen in 0,65 Mt., horizontale in 0,54 Mt. Entfernung.

Zeichnet man eine grofse Zahl feiner concentrischer Kreislinien in gleichen Abständen von einander auf Papier, wie in *Taf. I. Fig. 1*, und betrachtet sie in einer Entfernung, für die man gut accommodiren kann, so erscheinen eigenthümliche strahlige Scheine auf der Figur. Bei genauerer Betrachtung erkennt man, dafs in den lichteren Radien die schwarzen und weifsen Linien scharf von einander geschieden sind, dazwischen aber liegen hellgraue wolkige Stellen, in denen die schwarzen Linien mehr verwaschen erscheinen. Läfst man die Accommodation des Auges oder die Entfernung der Figur vom Auge etwas wechseln, so werden andere Stellen der Figur klar, und es entsteht dadurch der Anschein, als ob die klaren Strahlen sich sehr schnell hin und her bewegten. Richtet man das Auge für eine beträchtlich weitere Entfernung ein, als in der die Figur liegt, so sieht man 8 bis 10 Sectoren mit deutlichen Linien; wo diese an einander stofsen, sind sie nebelig, aber man erkennt, dafs die schwarzen Linien des einen Sectors nicht mit denen des nächsten zusammenpassen. Die innersten Kreise bekommen dadurch ein seltsam verzerrtes Ansehen.

Der reguläre Astigmatismus zeigt sich in fast allen menschlichen Augen *835* in geringem Grade. Seine Gröfse kann nach demselben Principe, wie die Breite der Accommodation gemessen werden. Astigmatische Augen haben, wie oben angeführt wurde, verschiedene Sehweite für Linien von verschiedener Richtung im Gesichtsfelde. Wenn die gröfste dieser Sehweiten in Pariser Zoll gemessen *P* ist und bei demselben unveränderten Accommodations-

zustande die kleinste für eine andere Linienrichtung gleich p, so brauchen wir als Maafs des Astigmatismus

$$As = \frac{1}{p} - \frac{1}{P}.$$

So lange As kleiner ist als $\frac{1}{40}$, bringt es noch keine erhebliche Störung des Sehens hervor; wenn es aber gröfser ist, wird die Gesichtsschärfe merklich beeinträchtigt, und es kann solchen Augen durch Brillengläser mit cylindrischen Flächen[1] geholfen werden, deren Brennweite man der Gröfse As gleich grofs wählt, und deren geradlinige Cylinderkanten man, wenn die cylindrische Krümmung convex ist, der Richtung der entferntesten deutlich gesehenen Linien parallel macht. Ist die cylindrische Krümmung concav, so stellt man die Cylinderkanten im Gegentheil senkrecht zu jener Richtung. Die zweite Fläche der Cylinderlinsen kann man sphärisch schleifen, so dafs die gleichzeitig etwa vorhandene Myopie oder Hypermetropie corrigirt wird.

Ein System cylindrischer Linsen ist auch das beste Mittel schnell herauszufinden, ob und wie grofser Astigmatismus vorhanden sei und welches die Richtungen des Meridians gröfster und kleinster Sehweite sind. Astigmatische Linsen mit veränderlichem Grade von Astigmatismus kann man sich nach einem Vorschlage von Stokes zusammensetzen aus zwei gleichen Cylinderlinsen, die man aufeinander legt. Stellt man sie so, dafs ihre Cylinderkanten sich rechtwinkelig schneiden, so sind sie nicht astigmatisch, sondern wirken zusammen wie eine sphärische Linse. Dreht man sie unter einem kleineren oder gröfseren Winkel, so kann man ihnen beliebig wachsende Gröfse des Astigmatismus geben.

Einen zweckmäfsigen Apparat zur schnellen Messung des Astigmatismus hat E. Javal[2] durch Herrn Nachet in Paris construiren lassen. Zwei Sterne von je 24 Linien werden durch Convexlinsen mit parallelen Gesichtslinien betrachtet. Man entfernt die Zeichnungen so weit, bis nur noch eine der Linien scharf gesehen wird. Dann werden Cylinderlinsen, die in zwei drehbaren kreuzförmigen Fassungen sitzen, entweder einzeln oder zu zweien combinirt vorgeschoben, bis man eine Stärke gefunden hat, bei der alle Linien
836 des Sterns gleich deutlich erscheinen. Das Centrum der beiden drehbaren Kreuze ist selbst an einem beweglichen Arme befestigt, der um die optische Axe der Convexlinse gedreht werden kann, um der Krümmung des cylindrischen Glases die richtige Richtung geben zu können.

n Besser noch unterscheidet man die verschiedene Deutlichkeit an den Liniensystemen von Herrn O. Becker[3], wo je vier parallele Linien in jeder Gruppe nebeneinander stehen, die verschiedenen Gruppen verschieden gerichtet sind.

---

[1] Th. Young hat für sein Auge eine schief gestellte sphärische Linse gebraucht, was leicht nachzumachen ist.

[2] E. Javal, *Ann. oculistique.* LV. p. 5—29. 1866.

O. Becker, *Vier Tafeln zur Bestimmung des Astigmatismus.* Wien 1868.

Herr E. JAVAL[1] hat auch ein dem Ophthalmometer ähnlich wirkendes Instrument construirt, um die verschiedene Krümmung der Hornhaut in verschiedenen Meridianen leicht und schnell zu constatiren und zu messen. Die Doppelbilder werden durch ein doppelt brechendes Prisma hervorgebracht, welches man gleichzeitig mit den hellen Flächen, die als Object der Hornhautbilder dienen, um die Axe des Instruments rotiren lassen kann.

Noch einfacher ist ein von Herrn PLACIDO[2] vorgeschlagenes Verfahren. Man läfst eine hell beleuchtete Scheibe mit concentrischen schwarzen und weifsen Ringen, wie *Fig. 78* (S. 162), von der Hornhaut spiegeln, wobei der Beobachter durch ein dem mittleren schwarzen Kreise entsprechendes Loch blickt. Abweichungen der Hornhaut von der Kugelgestalt verrathen sich durch entsprechende Verzerrungen des Hornhautbildes.

Die von DONDERS und KNAPP[3] ausgeführten Messungen der Hornhaut astigmatischer Augen haben ergeben, dafs mit wenigen Ausnahmen die Horn- *836*
haut den regelmäfsigen Astigmatismus bedingt, und dafs er bei höheren Graden häufig ein wenig vermindert wird durch einen entgegengesetzten Astigmatismus der Krystallinse.

Die Richtung der Linien, für welche die Sehweite am gröfsten ist, ist wie in den oben angegebenen Fällen von A. FICK und mir selbst in der Regel der verticalen Richtung näher als der horizontalen; doch kommt auch, wie bei TH. YOUNG, in nicht allzu seltenen Fällen das Umgekehrte vor.

Erscheinungen der angegebenen Art werden im Auge oder in optischen *141*
Instrumenten im Allgemeinen eintreten, so oft Licht an krummen Flächen gebrochen wird, deren Krümmung nach verschiedenen Richtungen hin verschieden ist, oder auch an Kugelflächen, so oft es schief auf die Fläche fällt. An beiderlei Ursachen kann man im Auge denken. Horizontale und verticale Meridianschnitte der brechenden Flächen des Auges haben nachweisbar nicht dieselben Krümmungsradien; und wir wissen aufserdem, dafs das menschliche Auge nicht ganz genau centrirt ist, und dafs der Ort des directen Sehens nicht in der Linie liegt, welche dem Begriffe einer Augenaxe am nächsten kommt.

Wie die verschiedene Krümmung der Hornhautmeridiane mit dem Ophthalmometer nachzuweisen ist, ist in § 2, S. 20—22, erörtert.

Anzuführen ist, dafs TH. YOUNG[4], in dessen Auge die beiden Vereinigungsweiten ziemlich beträchtlich differirten, durch einen Versuch ermittelt hat, dafs seine Hornhaut diese Differenz nicht bewirke. Er brachte nämlich das Auge unter Wasser, wobei die Brechung in der Hornhaut fast vollständig aufgehoben ward, und fand, dafs die Differenz der Vereinigungsweiten noch in gleichem Maafse fortbestand.

Schliefslich ist noch die unvollkommene Klarheit der Augenmedien als *142*
Grund monochromatischer Abweichungen anzuführen. Die Fasern der Horn-

---

[1] E. JAVAL et SCHIÖTZ. *Ann. d'oculist.* Juillet 1881. JAVAL ebenda. Mai 1882. Juillet 1882. Janvier 1883.
[2] PLACIDO in *Period. di oftalm. pratica.* Anno 2, No. 5 u. 6. 1880.
[3] H. KNAPP, *Gräfe's Archiv f. Ophthalm.* VIII. 2. S. 185—241. 1862.
[4] TH. YOUNG. *Philos. Transact.* 1801. P. I. p. 40.

haut und Linse scheinen allerdings durch eine Zwischensubstanz von ziemlic gleichem Brechungsvermögen verbunden zu sein, so dafs bei mäfsiger Licht stärke diese Theile vollkommen homogen und klar erscheinen. Wenn ma aber starkes Licht durch eine Brennlinse auf sie concentrirt, wird das a den Grenzen ihrer Elementarbestandtheile reflectirte Licht stark genug, u sie weifslich trübe erscheinen zu lassen. Von dem durch sie gehende Lichte wird also, wie dieser Versuch zeigt, ein Theil diffus zerstreut, un mufs auch andere Theile der Netzhaut treffen, auf welche das regelmäfsi gebrochene Licht nicht fällt. In der That bemerkt man, wenn man ein inten sives Licht vor einem ganz dunklen Grunde betrachtet, den Grund mi einem nebeligen weifsen Scheine übergossen, der in der Nähe des Licht am hellsten ist. Sowie man das Licht verdeckt, erscheint der umgebend Grund in seiner natürlichen Schwärze. Ich glaube diese Erscheinung durc zerstreutes Licht erklären zu müssen[1].

Ich will die Theorie der Brechung an nicht kugeligen Flächen und de Brechung bei schiefem Einfall an Kugelflächen hier nicht vollständig entwickeln weil sie vorläufig für die Untersuchung der Brechung im Auge nur von geringe Nutzen sein würde, solange wir nicht genauere Bestimmungen für die Form de brechenden Flächen haben. Es genüge hier, eine derartige Brechung in zwei ein fachen Fällen zu betrachten, aus denen die betreffenden Verhältnisse anschaulic werden.

Wir betrachten zuerst die Brechung im Scheitel eines ungleichaxige Ellipsoides. Es sei in *Fig. 88* die Linie gb eine Axe des Ellipsoides, i deren Verlängerung bei p de leuchtende Punkt liegt. Di Ebene der Zeichnung sei ei Hauptschnitt des Ellipsoide so dafs auch noch eine zwei Axe des Ellipsoides gh i dieser Ebene liegt. Da nu die Normalen solcher Punk der ellipsoidischen Fläche, welche in einem Hauptschnit

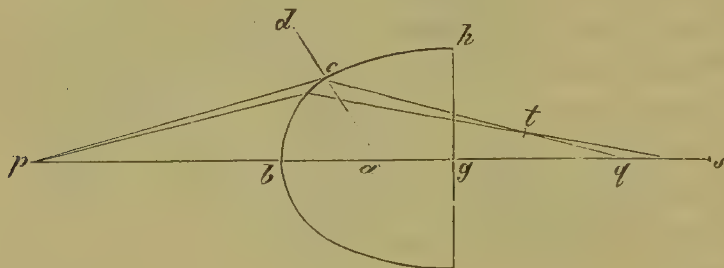


Fig. 88.

liegen, auch in demselben Hauptschnitte liegen, so liegen die Normalen der Curve bc in diesem Falle in der Ebene der Zeichnung. Wenn von p aus ein Strahl a den Punkt c fällt, so liegt der gebrochene Strahl in der durch den leuchtend Punkt und das Einfallsloth gelegten Ebene, d. h. in der Ebene der Zeichnun und schneidet also die Axe bg in irgend einem ihrer Punkte q. Dies würde nic der Fall sein, wenn die Ebene der Zeichnung nicht eben ein Hauptschnitt d Ellipsoids wäre.

Ist ad die Normale im Punkte c, so wird die Lage des gebrochenen Stral nun weiter durch die Bedingung bestimmt, dafs

$$sin \angle pcd = n \,.\, sin \angle acq$$

143 sein mufs, wenn n das Brechungsverhältnifs bezeichnet. Diese Bedingung ist al dann ganz dieselbe wie für Rotationsflächen. Die nahe senkrecht bei b auffalle

---

[1] H. HELMHOLTZ, *Pogg. Ann.* LXXXVI. S. 509. 1852.

len Strahlen werden dann also einen gemeinschaftlichen Vereinigungspunkt in der Axe haben, dessen Entfernung von dem Krümmungsradius $r_,$ der Curve bch in b bhängt. Ist p unendlich entfernt, so ist die Vereinigungsweite der Strahlen, . h. die Brennweite in dem vorliegenden Hauptschnitte gleich $\frac{n \cdot r_,}{n-1}$.

Für die Strahlen von p, welche in dem anderen Hauptschnitte verlaufen, der urch bq und die dritte Axe gelegt ist, verhält sich wieder Alles ebenso, nur at der Krümmungsradius im Scheitel der Fläche einen anderen Werth $r_{,,}$ und die 3rennweite der Strahlen in diesem zweiten Hauptschnitte ist gleich $\frac{n \cdot r_{,,}}{n-1}$.

Der Strahl pq wird also von den Strahlen, die in der Ebene der Zeichnung nmittelbar neben ihm liegen, in einem Punkte, etwa q, geschnitten; von den trahlen dagegen, die in einer durch ihn senkrecht zur Ebene der Zeichnung ge- gten Ebene ihm unmittelbar benachbart sind, nicht in demselben Punkte q, son- ern in einem anderen Punkte, etwa in s.

Läfst man unter diesen Umständen die Strahlen von p durch eine kleine reisförmige Öffnung, deren Mittelpunkt sich in der Axe bei b befindet, auf die rechende Fläche fallen, so ist der Querschnitt des Strahlenbündels unmittelbar bei ein Kreis, zwischen b und q eine Ellipse, deren senkrecht zur Ebene der Zeich- ung gestellte Axe gröfser ist als die in der Ebene liegende. Die Ellipse wird nmer kleiner und zugleich gestreckter, je mehr wir uns dem Punkte q nähern. n q ist der Querschnitt des Strahlenbündels eine zur Ebene der Zeichnung senk- echte Linie. Weiterhin wird er wieder eine Ellipse, deren gröfsere Axe senk- echt zur Ebene der Zeichnung steht, die schnell einem Kreise ähnlicher wird, ngefähr in der Mitte zwischen q und s wirklich ein Kreis wird und sich dann eine Ellipse verwandelt, deren längere Axe in der Ebene der Zeichnung liegt, ie sich gegen s hin immer mehr streckt, in s selbst sich in eine gerade Linie isammenzieht und jenseits s allmälig wieder breiter wird und sich immer mehr er Kreisform nähert, wie dies in *Fig. 86*, (S. 174) dargestellt ist.

Ähnlich verhält es sich mit Strahlenbündeln, welche schief auf eine ugelige Fläche fallen. Nehmen wir an, in *Fig. 88* sei bch eine Kugelfläche nd pc ein solcher schief auffallender Strahl. Wir wissen[1], dafs die Strahlen, elche in der Ebene der Zeichnung unmittelbar neben c auf die Fläche fallen, ch mit dem Strahle pc nach der Brechung nicht im Brennpunkte und in der entrallinie pq, sondern in einem seitwärts von der Axe liegenden Punkte der austischen Fläche schneiden. Es sei dieser Punkt t. Denken wir uns dagegen ie ganze Figur um die Linie ap gedreht, so tritt der Strahl pc allmälig an die telle anderer Strahlen, welche mit ihm gleich weit von dem Punkte b entfernt uf die Fläche fallen, und der gebrochene Strahl cq tritt an die Stelle der azu gehörigen gebrochenen Strahlen. Diese Strahlen schneiden sich also alle nur n Punkte q.

Während also die in der Ebene der Zeichnung dem Strahle pc unmittelbar enachbarten Strahlen ihn in t schneiden, schneiden ihn diejenigen benachbarten trahlen, die vor und hinter der Ebene der Zeichnung in gleicher Entfernung von einfallen, in q, und endlich können wir hinzusetzen, dafs ihn diejenigen Strahlen, elche weder in der Ebene der Zeichnung noch in gleicher Entfernung von b, ie bc ist, auffallen, gar nicht schneiden.

[1] S. oben S. 62. Fig. 40.

Es ist noch zu erörtern, inwiefern die Diffraction des Lichts in der Pupille von Einfluſs auf die monochromatischen Abweichungen des Auges sein kann.
144 Zunächst dürfte wohl die Frage aufgeworfen werden, ob die strahlige Form der kleinen Zerstreuungsfiguren nicht von den kleinen Einschnitten des Pupillarrandes veranlaſst sei. In der That sieht man eine ausgedehntere strahlige Figur, wenn man nach einem sehr hellen Lichtpunkte durch eine Öffnung sieht, welche kleiner als die Pupille ist, und deren Ränder nicht ganz feinpolirt sind; doch besteht eine solche Strahlenfigur in der Regel aus sehr feinen, mehr haarförmigen Strahlen mit lebhaften Farben, ähnlich dem schon oben beschriebenen Haarstrahlenkranze des Auges, der sehr helle Lichtpunkte umgiebt, auch wenn man sie nicht durch eine künstliche Öffnung betrachtet. Dreht man die Öffnung dann um ihren Mittelpunkt, so dreht sich der ganze Strahlenkranz mit ihr, woraus sich eben ergiebt, daſs dieser Strahlenkranz von den Rändern der Öffnung herrührt.

Von dem Vorhandensein einer Diffraction des Lichts, welche durch die feine Faserung der Krystallinse veranlaſst wäre, konnte ich mich an meinem eigenen Auge nicht überzeugen. Wenn ich durch eine glatt gebohrte Öffnung einer Metallscheibe nach einem kleinen lichten Punkte sehe, so dreht sich immer die ganze Diffractionsfigur, wenn ich die Scheibe drehe. Gehörten einzelne Züge der Diffractionsfigur den Fasern der Hornhaut oder Linse an, so müssten diese stehen bleiben. Dagegen beschreibt Beer[1] aus seinem Auge Diffractionserscheinungen, welche er von einer Faserung der Augenmedien herleitet.

n Auch Tyndall[2] beschreibt einen Fall, wo Interferenzringe erschienen, ähnlich denen, welche ein mit Lycopodiumsamen bepulvertes Glas zeigt.

144 Diese Diffractionsphänomene unterscheiden sich aber von denen der kleinen Zerstreuungskreise wesentlich durch den Umstand, daſs letztere beim Verdecken der Pupille von einer Seite her auch von einer Seite her verschwinden, während die andere Seite ungestört bleibt. Wenn ein feines Fäserchen oder ein feiner Einschnitt dagegen Diffractionsstrahlen bildet, so erstrecken sich diese niemals bloss nach einer Richtung, sondern stets auch nach der entgegengesetzten, weil jede Unterbrechung einer Lichtwelle stets nach entgegengesetzten, meist nach allen Seiten hin ihren Einfluſs ausübt. Die Haarstrahlenfiguren zeigen nun wirklich diesen Charakter; sobald man die Pupille anfängt zu bedecken, werden mehr oder weniger alle Theile der Figur gestört und verändert.

Auſser der Diffraction, welche Unregelmäſsigkeiten des Randes der Pupille bewirken, kommt aber auch noch in Betracht, daſs die ganze Pupille als enge kreisförmige Öffnung Diffraction hervorrufen kann. Jedes Mal, wo Strahlen eines leuchtenden Punktes durch eine oder mehrere brechende Flächen von begrenzter Apertur, die übrigens vollkommen achromatisch und aplanatisch sein mögen, gebrochen werden, entsteht im Vereinigungspunkte der Lichtstrahlen kein punktförmiges Bild, sondern wegen der Diffraction am Rande der Apertur eine kleine lichte Figur, die abwechselnd helle und dunkle Stellen zeigt, deren Form und Lage im Allgemeinen von der Gröſse und Gestalt der Öffnung abhängig sind. Ist die letztere kreisförmig, was bei den optischen Instrumenten und im Auge gewöhnlich der Fall ist, so besteht die Diffractionsfigur aus einer hellen Kreisscheibe, umgeben von mehreren dunklen und hellen Ringen von schnell abnehmender Helligkeit. Ist d der Durchmesser der Apertur des brechenden Systems, r der Abstand des Bildes von der

[1] E. Beer. *Poggendorff's Ann.* LXXXIV. 518. 1853.
[2] J. Tyndall in *Phil. Magaz.* (4) XI. 332.

selben, l die Wellenlänge des Lichts, so ist der Durchmesser δ der mittleren Kreisscheibe nach der durch die Versuche bestätigten Theorie dieser Erscheinungen

$$\delta = 2{,}440 \cdot \frac{l \cdot r}{d}.$$

Setzen wir für mittleres Licht $l = {}^1/_{2000}$ mm und r für das Auge gleich 20 mm, so wird, wenn δ und d in Millimetern ausgedrückt werden,

$$\delta = 0{,}0244 \cdot \frac{1}{d}.$$

Bei der kleinsten Pupillenweite, die wir gleich 2 mm setzen wollen, würde δ gleich 145
0,0122 mm werden. Diese Gröfse des Zerstreuungskreises entspricht einem Gesichtswinkel von 2 Min. 6 Sec., und ist gleich der Gröfse des Zerstreuungskreises, den in einem für unendliche Entfernung adaptirten Auge ein 25 m entfernter Lichtpunkt entwirft. Da der Gesichtswinkel der kleinsten wahrnehmbaren Distanzen etwa 1 Min. beträgt, so mufs bei engster Pupille die Diffraction eben anfangen, die Genauigkeit des Sehens zu beeinträchtigen.

Zu den monochromatischen Abweichungen gehören auch noch die Lichtstreifen, welche nach oben und unten von einem lichten Körper ausgehen, wenn man die Augenlider halb schliefst. Sie rühren von der Brechung des Lichts in dem concaven Flüssigkeitsrande her, der sich an den Lidern erhebt. Dieser Rand wirkt wie ein kleines Prisma oder eine Reihe kleiner Prismen von veränderlichem Winkel, und lenkt das ihn treffende Licht stark von seinem Wege ab.

Die Messungen, welche von älteren Physikern über die Ungleichheit der Brennweite horizontal und vertical divergirender Strahlen ausgeführt worden sind, haben nur noch historisches Interesse. Bei einigen fehlen diese Abweichungen ganz und gar, wie z. B. bei Brücke[1], und wo sie vorkommen, zeigen sie sich in entgegengesetztem Sinne.

Th. Young giebt an, dafs sein Auge zu einem Focus sammele vertical divergirende Strahlen eines 10 engl. Zoll (304 mm) entfernten leuchtenden Punktes, und horizontal divergirende eines 7 Zoll (213 mm) entfernten. Um die Gröfse dieses Unterschieds unabhängig von den Sehweiten seines Auges auszudrücken, berechnet er die Brennweite eines Glases, welches im Stande wäre, als Brille gebraucht, die eine Entfernung auf die andere zu reduciren, und findet 23 engl. Zoll (700 mm). Um den Fehler seines Auges zu corrigiren, würde er ein Brillenglas mit einer convexen Cylinderfläche von horizontaler Axe oder ein solches mit einer concaven Cylinderfläche und verticaler Axe von der angegebenen Gröfse der Brennweite gebraucht haben. A. Fick fand, dafs er 4,6 m entfernte Verticallinien und 3 m entfernte Horizontallinien gleichzeitig deutlich gesehen habe. Ich selbst sehe gleichzeitig deutlich 0,65 m entfernte Verticallinien und 0,54 m entfernte Horizontallinien. Der Sinn der Abweichung ist in diesen beiden Fällen der entgegengesetzte wie bei Th. Young, die Gröfse eine viel geringere. Durch die Focallänge einer cylindrischen Linse ausgedrückt, entspricht die Abweichung in Fick's Auge einer Brennweite von 8,6 m und in meinem Auge 3,19 m. Dergleichen Messungen sind leicht auszuführen, indem man etwa ½ Zoll über einem horizontalen, hinreichend langen Brettchen eine feine Nähnadel horizontal befestigt, und indem man sie vom Ende des Brettchens her betrachtet, eine verticale Nadel vor ihr oder hinter ihr in solcher Entfernung einsticht, dafs beide gleich deutlich erscheinen.

A. Fick fand, dafs ein unbefangen blickendes Auge sich meist für Verticallinien accommodirt. Um annähernd die Entfernung der beiden Brennebenen berechnen zu können, wollen wir annehmen, dafs Listing's schematisches Auge für Verticallinien accommodirt sei. Machen wir die Abweichung der horizontal und vertical divergirenden

[1] E. Brücke, *Fortschritte der Physik im Jahre 1845.* S. 211. Berlin 1847.

Strahlen darin ebenso grofs wie bei den genannten drei Beobachtern, so würde liegen der Brennpunkt für horizontale Strahlen nach den Angaben von

Th. Young . . 0,422 mm vor dem anderen,
A. Fick . . . . 0,035 mm } hinter dem anderen.
H. Helmholtz 0,094 mm }

Diese Abweichungen sind, wie man sieht, kleiner als die des rothen und violetten Brennpunktes (0,6 mm). Sie beeinträchtigen die Schärfe des Sehens auch so lange nicht sehr wesentlich, als es darauf ankommt, Linien von einander zu unterscheiden, die irgend einer Hauptrichtung folgen. Nur wo gekreuzte Linien gleichzeitig scharf gesehen werden sollen, treten sie hindernd auf. Die sehr ausgedehnte neuere Literatur über diesen Gegenstand ist theils schon gegeben, theils wird dies am Schlufs des Werkes geschehen.

146 Die mehrfachen Bilder eines Punktes oder einer Linie bei ungenauer Accommodation haben schon de la Hire[1] und Jurin[2] erwähnt, ohne aber die richtige Erklärung zu finden. Später beschrieb und bildete Th. Young[3] die Form der Zerstreuungsfiguren ab bei verschiedener Entfernung des leuchtenden Punktes, und spricht die Vermuthung aus, dafs die Strahlen von leichten Ungleichförmigkeiten der vorderen Linsenfläche herrühren möchten. Später erwähnt sie Hassenfratz[4], welcher denselben Grund voraussetzt und sie als Schnittlinien von zwei kaustischen Flächen bezeichnet. Purkinje beschreibt die Erscheinungen der mehrfachen Bilder, ferner die, welche beim Anschauen feiner paralleler Linien eintreten, und bildet die Sternfigur ab; er glaubt sie am besten von Hornhautfacetten ableiten zu können. Mehrfache Bilder einer hellen Linie hat auch Péclet[6] gesehen und erkannt, dafs sie durch eine besondere Structur der brechenden Flächen veranlafst sein müfsten. Ebenso Niedt[7], Guérard[8], Fliedner[9]. Letzterer hat die hierher gehörigen Erscheinungen ausführlich in ihrem Zusammenhange beschrieben. Trouessart[10] glaubt einen netzförmigen dunklen Schirm hinter den brechenden Flächen des Auges annehmen zu müssen, deren mehrfache Öffnungen nach dem Principe des Scheiner'schen Versuchs die mehrfachen Bilder veranlafsten. Die Ansicht über ihre Entstehung von A. Fick[11] ist oben schon erwähnt. Erwähnt werden hierher gehörige Erscheinungen noch von Aimée[12] und Cranmore[13]. Eine ganz eigenthümliche Ansicht über den Ursprung der mehrfachen Bilder, die *Polyopia monophthalmica* der Augenärzte hat Stellwag von Carion[14] aufgestellt. Er glaubte beobachtet zu haben, dafs die verschiedenen Bilder nach verschiedenen Richtungen polarisirtes Licht erhalten. Indessen ist dies nicht richtig; Herr Carion ist bei seinen Versuchen wahrscheinlich durch eine schlecht geschliffene Turmalinplatte mit schwach gewölbten Flächen oder Streifen im Innern getäuscht worden. Eine schwach cylindrische Fläche einer solchen Platte würde vor das Auge gehalten, bald in horizontaler, bald in verticaler Richtung die Strahlen zur Vereinigung bringen und dadurch einzelne der Doppelbilder beseitigen können. Um den Einflufs solcher Mängel der Platte aufzuheben, stelle man sie zwischen das Licht und einen Schirm mit enger Öffnung, so dafs polarisirtes Licht durch die Öffnung fällt, während der Beobachter diese Öffnung aus hinreichender Entfernung betrachtet, um s

---

1 Ph. de la Hire, *Accidens de la vue.* p. 400.
2 J. Jurin, *Smith's Optics. Essay on distinct and indistinct vision.* p. 156.
3 Th. Young, *Philos. Transactions.* 1801. I. p. 43. Pl. VI.
4 J. H. Hassenfratz, *Ann. de Chimie.* 1809. T. LXXII. p. 5.
5 J. E. Purkinje, *Beiträge zur Kenntnifs des Sehens.* Prag 1819. S. 113--119. *Neue Beiträge zur Kenntnifs des Sehens.* S. 139—146. 173.
6 J. C. E. Péclet, *Ann. d. Chimie et d. Phys.* LIV. 379. — *Poggendorff's Ann.* XXXIV. S. 557.
7 Niedt, *De dioptricis oculi coloribus ejusque Polyopia. Dissert.* Berolini 1842.
8 Guérard. *Institut.* 1845. No. 581. p. 64.
9 C. Fliedner, *Poggendorff's Ann.* LXXXV. S. 321. 460. LXXXVI. 336. *Cosmos*, I. 333.
10 Trouessart, *C. R. de l'Acad. d. sciences.* XXXV. 134—136. 398. *Archive de Genève.* XX. 305. *Instit* 1852. p. 304.
11 A. Fick, *Henle u. Pfeuffer Zeitschrift.* N. Folge V. S. 277.
12 Aimée, *Ann. d. Chimie et d. Physique.* LVI. 108. *Poggendorff's Ann.* XXXIII, S. 479.
13 Cranmore, *Philos. Magazine.* (3) XXXVI. 485.
14 Stellwag von Carion, *Wiener Sitzungsberichte.* VIII. 82. *Denkschriften d. k. k. Akad.* V. 2. p. 172

ternförmig zu sehen. Man lasse nun die polarisirende Platte herumdrehen, so dafs die Polarisationsrichtung des Lichts wechselt. Dann ist nicht der geringste Einflufs der Polarisationsrichtung auf die Doppelbilder zu erkennen. Übrigens lassen sich die von CARION angeblich gewonnenen Resultate auch nicht mit den bekannten Gesetzen der Doppelbrechung vereinigen. Widerlegt worden ist er durch GUT[1]. Die medicinische Literatur über das pathologische Vorkommen auffallenderer *Diplopia monophthalmica* findet sich in dem Aufsatze von CARION zusammengestellt.

Über Diffractionserscheinungen des Auges sind Beobachtungen gemacht von BOUDRIMONT[2], WALLMARK[3], BEER[4]. Die Lichtstreifen, welche bei halb vorgeschobenen Augenlidern durch den concaven Thränenrand an ihren Rändern entstehen, hat MEYER[5] (in Leipzig) besprochen.

Die Asymmetrie des Auges in seinen verschiedenen Meridianebenen finde ich zuerst von TH. YOUNG[6] besprochen, welcher dabei anführt, dafs ein Herr CARY ihm als Thatsache angeführt habe, dafs viele Personen ihre Brillengläser schief gegen das Auge halten müfsten, um gut durch sie zu sehen. Weitere darauf bezügliche Beobachtungen finden sich von AIRY[7], FISCHER[8], CHALLIS[9], HEINEKEN[10], HAMILTON[11], SCHUYDER[12], welcher Letz- *147*
tere Cylinderlinsen dagegen verfertigen liefs, endlich A. FICK[13]. Eine vollständigere Zusammenstellung der älteren Beobachtungen findet sich in FECHNER's Centralblatt Jahrgang 1853. p. 73—85. 96—99. 374—370. 558—564). Seitdem DONDERS[14] auf die *n*
durch Astigmatismus bedingten Sehstörungen hinwies, bildet die Bestimmung des Astigmatismus einen regelmäfsigen Theil der augenärztlichen Untersuchungen.

Die Frage nach der sphärischen Abweichung des Auges in dem Sinne, wie dieser *147*
Ausdruck für künstliche Instrumente gebraucht wird, verliert neben den beschriebenen viel gröberen Abweichungen, die im Auge vorkommen, ihre Wichtigkeit. Aufser der im vorigen Paragraphen schon erwähnten Beobachtung von TH. YOUNG mit seinem Optometer, wonach dessen Faden, durch vier Öffnungen gesehen, vierfach erschien und sich die vier scheinbar vorhandenen Fäden bei der Accommodation für die Nähe nicht in einem Punkte kreuzten, hat auch VOLKMANN[15] sich bemüht, durch Versuche über die Frage zu entscheiden, ob das Auge sphärische Aberration besitze. Er und einige andere Personen blickten durch einen Schirm mit vier Öffnungen, die in einem Bogen standen, nach einer Nadel, die in verschiedene Entfernungen vom Auge gebracht wurde. Wenn das Auge die mittleren Strahlen eher vereinigt als die Randstrahlen, werden sich bei dem Versuche, indem man die Nadel vom Auge entfernt und dem Punkte des deutlichen Sehens nähert, die Bilder der Nadel, welche den mittleren Öffnungen angehören, eher vereinigen als die der seitlichen Öffnungen. Werden die Randstrahlen eher vereinigt als die Centralstrahlen, so wird es umgekehrt sein. VOLKMANN fand bei verschiedenen Individuen in dieser Beziehung ein entgegengesetztes Verhalten. Bei regelmäfsig gebildeten brechenden Rotationsflächen würden die angegebenen Versuche von YOUNG und VOLKMANN in der That über die Art und Gröfse der sphärischen Abweichung des Auges Aufschlufs geben.

---

1 GUT. *Über Diplopia monophthalmica. Dissert.* Zürich 1854.
2 BAUDRIMONT, *C. R. d. l'Acad. d. sc.* XXXIII. 496; *Institut.* No. 931; *Phil. Magaz.* (4) II. 575.
3 WALLMARK, *Poggendorff's Ann.* LXXXII. 129.
4 E. BEER, *Poggendorff's Ann.* LXXXIV. 518. 1853.
5 M. H. MEYER, *Poggendorff's Ann.* LXXXIX. 429. 1853.
6 MEYER, *Phil. Transact.* 1801. I. p. 39.
7 G. B. AIRY, *Edinb. Journal of Sc.* XIV. p. 322.
8 E. G. FISCHER, *Berl. Denkschriften* 1818 u. 1819. S. 46.
9 J. CHALLIS, *Transact. of the Cambridge Phil. Soc.* II.; *Phil. Magaz.* (3) XXX. 366.
10 HEINEKEN, *Phil. Magaz.* XXII. 318.
11 HAMILTON, *Froriep's Notizen.* VII. 219.
12 SCHUYDER, *Verhandl. d. schweizer. naturf. Ges.* 1848. p. 15; *Froriep's Notizen.* X. 346; *Archiv de Genève.* X. 302.
13 A. FICK, *De errore quodam optico asymmetria bulbi effecto.* Marburgi 1851; *Henle u. Pfeuffer Zeitschrift.* N. Folge. Bd. II. S. 83.
14 F. C. DONDERS, *Anomalies of Accommodation and Refraction.* London 1864. Chapter VIII.
15 VOLKMANN, *R. Wagner's Handwörterbuch für Physiol.* Artikel: Sehen.

Indessen werden in den meisten Meridianebenen der meisten Augen die Puukte, wo die gebrochenen Strahlen den Centralstrahl treffen, gar keine continuirliche Reihe bilden, so daſs der Begriff der sphärischen Abweichung hier gar nicht paſst.

148 § 15. Die entoptischen Erscheinungen.

Das in das Auge einfallende Licht macht unter gewissen Bedingungen eine Reihe von Gegenständen sichtbar, welche sich im Auge selbst befinden. Solche Wahrnehmungen nennt man entoptische. Unter gewöhnlichen Umständen werfen kleine dunkle Körper, die im Glaskörper oder der Linse und wässerigen Feuchtigkeit schweben, keinen sichtbaren Schatten, und werden deshalb nicht bemerkt. Der Grund davon ist, daſs durch jeden Theil der Pupille meist gleichmäſsig Licht eindringt, und somit für die Beleuchtung der hinteren Augenkammer die ganze Pupille gleichsam die leuchtende Fläche bildet. Es ist aber bekannt, daſs, wenn Licht von einer sehr breiten Fläche ausgeht, nur breite Gegenstände, oder solche Gegenstände, welche der den Schatten auffangenden Fläche sehr nahe sind, einen sichtbaren Schatten werfen.

Nun giebt es im Auge allerdings Gegenstände, nämlich die Gefäſse der Netzhaut, welche sehr nahe vor der lichtempfindenden Fläche des Auges sich befinden, und daher immer einen Schatten auf die dahinter liegenden Theile der Netzhaut werfen. Aber eben weil diese Theile der Netzhaut hinter den Gefäſsen immer beschattet sind, und der beschattete Zustand für sie der normale ist, nehmen sie ihn nur unter besonderen Umständen wahr, welche wir weiter unten näher besprechen wollen.

Zunächst wende ich mich zu den in den durchsichtigen Mitteln des Auges enthaltenen kleinen schattengebenden Körpern. Um sie wahrzunehmen, muſs man Licht von einer sehr kleinen leuchtenden Stelle, welche sich sehr nahe vor dem Auge befindet, in das Auge fallen lassen. Zu dem Zwecke kann man entweder das im Focus einer kleinen Sammellinse entworfene Bild einer fernen Lichtflamme nahe vor das Auge bringen, oder ein kleines gut polirtes metallisches Knöpfchen, welches von der Sonne oder einer Lampe beschienen wird, oder einen Schirm von dunklem Papier, welcher Licht durch eine sehr kleine Öffnung fallen läſst. Am zweckmäſsigsten ist es, eine Sammellinse von groſser Apertur und kleiner Brennweite *a Fig. 89* aufzustellen; vor ihr in einiger Entfernung eine Lichtflamme *b*, von der die Linse in ihrem Brennpunkte ein verkleinertes Bild entwirft. Dann stellt man hier einen undurchsichtigen dunklen Schirm *c* mit kleiner Öffnung so auf, daſs das Bild der Flamme auf diese Öffnung fällt. Durch die Öffnung





Fig. 89.

dringt dann ein breiter Kegel divergirender Strahlen. Ein Auge *o*, welches der Öffnung sehr genähert wird, erblickt durch sie hindurch die breite, gleichmäfsig erleuchtete Fläche der Linse, auf welcher sich nun mit grofser 149
Deutlichkeit die entoptisch wahrzunehmenden Gegenstände darstellen. Wenn wie in *Fig. 90* der leuchtende Punkt *a* zwischen dem Auge und seinem vorderen Brennpunkte *f* liegt, entwerfen die Augenmedien ein entfernteres, vor dem Auge liegendes Bild *α* von *a*, und die Strahlen durchdringen den Glaskörper in Richtungen, welche von *α* aus divergiren. Unter diesen Umständen wird von einem im Glaskörper befindlichen dunklen Körper *b* ein Schatten *β* auf der Netzhaut entworfen, welcher gröfser ist als *b*.

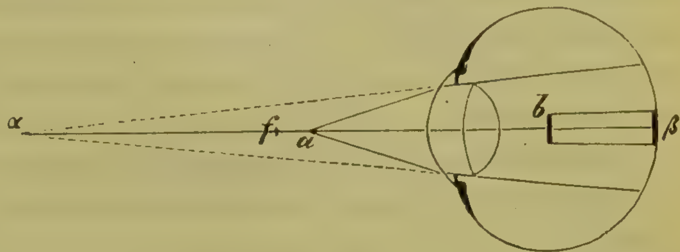


Fig. 90.

Wenn wie in *Fig. 91* der leuchtende Punkt *a* im vorderen Brennpunkte des Auges liegt, werden die von *a* ausgegangenen Strahlen im Glaskörper parallel sein, und von einem im Glaskörper befindlichen dunklen Körperchen *b* wird ein Schatten *β* von gleicher Gröfse entworfen. Liegt endlich der leuchtende Punkt vom Auge weiter entfernt als der vordere Brennpunkt des Auges *f*, wie in *Fig. 92*, so fällt das Bild von *a* hinter das Auge nach *α*, und die Strahlen convergiren im Glaskörper nach *α* hin. Der Schatten *β* von *b* ist dann kleiner als *b*.

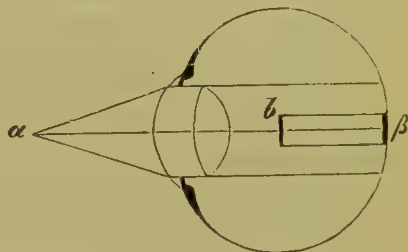


Fig. 91.

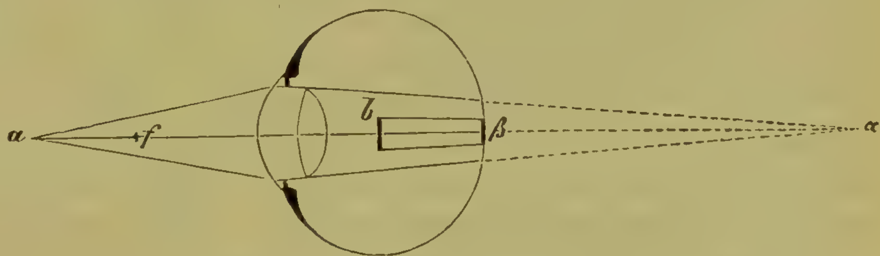


Fig. 92.

Dem entsprechend bemerkt man, dafs die entoptisch sichtbar gewordenen Gegenstände sich scheinbar vergröfsern, wenn man das Auge dem leuchtenden Punkte nähert; sich verkleinern, wenn man es von ihm entfernt.

Die bei diesen Versuchen beleuchtete Stelle der Netzhaut ist der Zerstreuungskreis des leuchtenden Punktes. Auf diesem werden die Schatten der entoptisch wahrgenommenen Gegenstände entworfen. Diese Schatten sind zwar scharf genug, dafs man die Gestalt der Objekte ziemlich gut erkennen kann, wenn die Lichtquelle klein genug ist, aber sie bilden doch niemals ganz vollkommen scharfe Bilder, weil das Licht in Wirklichkeit doch nicht von einem einzigen Punkte, sondern stets von einer, wenn auch kleinen, leuchtenden Fläche kommt. Das von den Augenmedien entworfene Bild

dieser Fläche ist für die auf der Netzhaut zu entwerfenden Schatten die Lichtquelle, welche natürlich stets einige Ausdehnung haben wird. Während punktförmige Lichtquellen scharf gezeichnete Schatten entwerfen würden, entwerfen ausgedehntere Lichtquellen Schatten, deren Umrisse allmälig durch Halbschatten in die Fläche übergehen, und die deshalb minder scharf ge-
150 zeichnet sind. Im Allgemeinen werden deshalb die entoptischen Wahrnehmungen desto schärfer gezeichnet, je feiner die Öffnung ist, durch welche das Licht dringt, und aufserdem je näher der schattengebende Körper der Netzhaut sich befindet. Aber natürlich mufs man bei engeren Öffnungen auch intensiveres Licht zur Beleuchtung benutzen. Aufserdem kommt bei sehr engen Öffnungen noch eine andere Erscheinung zum Vorschein, welche die Deutlichkeit der Zeichnung beeinträchtigt. Es bilden sich nämlich durch Diffraction am Rande des schattengebenden Körpers Diffractionsfransen, helle und dunkle Linien, welche dem Umrisse des Schattens folgen. Dergleichen Diffractionsfransen entstehen überall, wo punktförmige, hinreichend intensive Lichtquellen Schatten werfen. Bei den gewöhnlichen Lichtquellen von gröfserer Breite verschwinden diese Fransen im Halbschatten.

Wenn das Auge oder der leuchtende Punkt seine Stellung verändert, so verschieben sich die Schatten der Körper, welche verschieden weit von der Netzhaut abstehen, in verschiedener Weise, und nehmen dadurch eine verschiedene gegenseitige Lage an. Man kann, wie Listing gezeigt hat, diesen Umstand benutzen, um den Ort im Auge ungefähr zu bestimmen, wo sich die schattengebenden Körperchen befinden. Das entoptische Gesichtsfeld ist begrenzt durch den kreisförmigen Schatten der Iris. Wenn wir nach einander verschiedene Punkte des kreisförmigen Feldes fixiren, verschieben sich die Schatten aller Körper, welche nicht in der Ebene der Pupille liegen, gegen die kreisförmige Begrenzung des Gesichtsfeldes. Diese Bewegung der Schatten in dem entoptischen Gesichtsfelde nennt Listing die *relative entoptische Parallaxe*; er nennt sie positiv, wenn die Bewegung des betreffenden Schattens die gleiche Richtung hat mit der Richtung des Visirpunktes, negativ, wenn sie entgegengesetzte Richtung hat. Die relative entoptische Parallaxe ist Null für Objecte, welche in der Ebene der Pupille liegen, positiv für Objecte hinter der Pupille, negativ für Objecte vor der Pupille. Für Objecte, welche der Netzhaut sehr nahe liegen, ist die Verschiebung der Schatten fast ebenso grofs wie die des Visirpunktes, so dafs diese den Visirpunkt bei seinen Bewegungen überall hin begleiten, wenn sie nicht durch wirkliche Bewegungen in der Flüssigkeit des Glaskörpers aus der Gesichtslinie entfernt werden.

Der Schatten auf der Netzhaut ist ebenso gerichtet wie der schattenwerfende Körper; da aber, was auf der Netzhaut oben ist, im Gesichtsfelde unten erscheint, so erscheinen die entoptisch gesehenen Gegenstände im Gesichtsfelde stets verkehrt.

Was man entoptisch wahrnehmen kann, ist Folgendes:

1) Begrenzt ist das helle Feld durch den Schatten der Iris; es ist deshalb nahe kreisrund, entsprechend der Form der Pupille. Hat der Pupillarrand der Iris Einschnitte, Falten oder Vorsprünge, wie dies in vielen Augen der Fall ist, so sind dergleichen auch in dem entoptischen Bilde zu erkennen. Auch die Erweiterung und Verengerung der Pupille kann man entoptisch beobachten, am leichtesten, wenn man das andere Auge abwechselnd mit der Hand verdeckt und wieder frei läfst. Sobald Licht in dieses Auge fällt, verengern sich die Pupillen beider Augen, und man erkennt diese Verengerung leicht im entoptischen Bilde.

2) Von den Flüssigkeiten herrührend, welche die Hornhaut überziehen (Thränenfeuchtigkeit, Secret der Augenliderdrüsen), nimmt man oft im ent- *151*
optischen Gesichtsfelde Streifen wahr, wolkig-helle oder lichtere Stellen, tropfenähnliche Kreise mit heller Mitte, welche durch Blinzen mit den Augenlidern schnell verwischt und verändert werden. Dergleichen sind dargestellt in *Taf. I. Fig. 2.* Sie sind meist in schnellem Zerfliefsen begriffen und haben eine selbständige Bewegung von oben nach unten. Die Streifen sind am stärksten ausgeprägt dicht am Rande der Augenlider, wenn man die Lider vor die Pupille treten läfst, und sind der Ausdruck der capillaren concaven Flüssigkeitsschicht, welche sich von der Hornhaut auf den Rand der Augenlider herüberzieht. Die Tropfen entstehen wohl durch capilläre Anhäufungen der feuchten Schicht um Schleimklümpchen, Staubtheile u. dgl. Die helle Stelle in der Mitte der Tropfen bildet oft ein unvollkommenes optisches Bild von der Lichtquelle, ist z. B. dreieckig, wenn das Licht durch eine dreieckige Öffnung in das Auge fällt. Dies Bild der Lichtquelle steht scheinbar aufrecht im entoptischen Gesichtsfelde, während es auf der Netzhaut verkehrt sein muss. Die Ansammlungen von Flüssigkeit auf der Hornhaut bilden hierbei kleine Convexlinsen, welche hinter sich ein umgekehrtes Bild der vor ihnen liegenden Gegenständen entwerfen. Der Bewegung dieser Gebilde im Gesichtsfelde von oben nach unten entspricht eine wirkliche Bewegung nach oben, welche wohl dadurch bedingt wird, dafs das obere Augenlid, während es gehoben wird, die zähen Schleimtheile nachzieht.

3) Die kraus gewordene Vorderfläche der Hornhaut, nachdem man eine Zeit lang das geschlossene Auge mit den Fingern gedrückt oder gerieben hat. Man sieht ziemlich gleichförmig vertheilt gröfsere, unbestimmt begrenzte, wellige oder netzartig geordnete Linien und getigerte Flecken, die sich eine Viertelstunde bis zu einigen Stunden halten. Es sind dergleichen dargestellt in *Taf. I. Fig. 3.* Zuweilen bleiben auch in dem Netze dieser Linien einzelne unveränderte glatte Stellen stehen, welche darauf schliefsen lassen, dafs hier die Hornhaut eine andere Art der Consistenz habe.

Aufserdem finden sich, von der Hornhaut herrührend, zuweilen constante dunkle Flecken und Linien vor, welche sich nicht ändern und wohl meist Reste von Entzündungen und Verletzungen sind.

4) Von der Linse, namentlich der vorderen Kapselwand, und dem vorderen Theile des Krystallkörpers rühren mannigfache Erscheinungen her.
152 LISTING beschreibt folgende vier Formen:

a) Perlflecken, runde oder rundliche Scheibchen, innen hell, mit scharfem, dunklem Rande. Sie sehen bald Luftbläschen, bald Öltropfen, bald Krystallchen ähnlich, welche man durch das Mikroskop sieht (s. *Taf. I. Fig. 4*); LISTING hält sie für Schleimmassen in der MORGAGNI'schen Feuchtigkeit.

b) Dunkle Flecken, unterscheiden sich von den vorigen durch den Mangel eines hellen Kerns und auch durch gröfsere Mannigfaltigkeit der Gestalt. Sie scheinen partielle Verdunkelungen der Kapsel oder Linse zu sein (s. *Taf. I. Fig. 5*).

c) Helle Streifen, meist einen unregelmäfsigen Stern mit wenig Ausläufern in der Mitte des Gesichtsfeldes darstellend (*Taf. I. Fig. 6*). LISTING hält sie für das Bild eines nabelförmigen Gebildes mit naht- oder wulstähnlichen Zweigen in der vorderen Kapselmembran, herrührend von der im Fötalzustande erfolgenden Trennung dieses Kapseltheils von der Innenseite der Hornhaut.

d) Dunkle radiale Linien (*Taf. I. Fig. 7*), welche wohl Andeutungen des strahligen Baues der Linse sind.

Einzelne von den genannten Formen scheinen fast in jedem Auge sichtbar zu sein, wenige Augen sind ganz frei davon.

5) Bewegliche Gebilde im Glaskörper, die sogenannten fliegenden Mücken (*Mouches volantes*), welche theils als Perlenschnüre, theils als vereinzelte oder zusammengruppirte Kreise mit hellem Centrum, theils als unregelmäfsige Gruppen sehr feiner Kügelchen, theils als blasse Streifen, ähnlich den Falten einer sehr durchsichtigen Membran, erscheinen. Da viele von ihnen sehr nahe vor der Netzhaut sich befinden, sieht man sie oft ohne weitere Hülfsmittel, indem man nach einer breiten, gleichmäfsig erleuchteten Fläche, z. B. dem hellen Himmel, blickt. Dafs sie sich nicht blos scheinbar, sondern wirklich bewegen, bemerkt man leicht, wenn man bei aufrechter Haltung des Kopfes, z. B. durch eine Fensterscheibe, nach dem Himmel blickt, und einen mit einem Merkzeichen versehenen Punkt des Glases fixirt. Dann sieht man die entoptischen Erscheinungen meistens langsam im Gesichtsfelde herabsinken. Senkt man den Blick und hebt ihn wieder, so folgen die Mücken dieser Bewegung des Visirpunktes, schiefsen aber
153 gewöhnlich etwas über das Ziel hinaus und sinken dann wieder. Nach einer Bewegung des Auges dagegen, welche von oben nach unten gerichtet ist, tritt ein solches Schwanken über das Ziel hinaus nicht ein, auch nicht bei seitlichen Bewegungen. Beobachtet man dagegen bei senkrecht nach unten oder oben gerichteter Gesichtslinie, so liegen die Mücken ziemlich ruhig. Sehr leicht läfst man sich aber bei diesen Beobachtungen verleiten, den Blick nach einer solchen dem Gesichtspunkt naheliegenden Mücke richten zu wollen, um sie durch direkte Fixation deutlicher zu sehen. Dann fliegt die entoptische Erscheinung vor dem Visirpunkte einher, ohne natürlich je

von ihm erreicht werden zu können. Gerade auf diese Eigenthümlichkeit der Erscheinung bezieht sich wohl der Name der *Mouches volantes*. Man verwechsle diese scheinbare Bewegung nicht mit einer wirklichen, und achte bei den Beobachtungen der letzteren darauf, einen äufseren Gesichtspunkt ganz fest zu fixiren.

Um solche bewegliche Objecte mit Ruhe betrachten zu können, wählt man am besten eine Lage des Kopfes, wo das Auge vertical nach unten oder nach oben sieht, weil dann die Bewegungen der schwimmenden Körperchen aufhören. Übrigens kann man Mücken, welche seitlich im Gesichtsfelde liegen, zwingen, nach der Stelle des deutlichsten Sehens heranzuschwimmen, wenn man das Auge erst recht schnell in der Richtung bewegt, nach welcher sie vom Visirpunkt aus liegen und dann langsam zurückbewegt.

Donders und Doncan[1] unterscheiden folgende Formen dieser Objecte:

a) Gröfsere isolirte Kreise, bald mit dunkleren, bald mit blasseren Umrissen, in der Mitte heller, meist noch mit einem schmalen Lichtkreis umgeben. Sie haben zwischen $^1/_{28}$ und $^1/_{120}$ mm Durchmesser und sind $^1/_3$ bis 3 oder 4 mm von der Netzhaut entfernt, kommen aber auch in der Linse vor. Ist das Ange lange ruhig gewesen, so zeigen sich nur wenige; sie kommen namentlich, und zwar scheinbar von unten her, zum Vorschein durch eine schnelle Bewegung des Auges von unten nach oben, der plötzlicher Stillstand folgt, und senken sich dann wieder langsam nach unten. Ihre Bewegung kann für die dunkelsten in einer Ausdehnung von $1^1/_2$ mm direct beobachtet werden und ist wahrscheinlich viel ausgedehnter. Ihre seitlichen Bewegungen bei seitlichen Bewegungen des Auges findet Doncan beschränkt. In meinen eigenen Augen kann ich einen solchen Unterschied nicht wahrnehmen. Wenn ich den Kopf auf die Seite lege, so finde ich, dafs die Mücken jetzt ebenso schnell und weit scheinbar nach dem Erdboden hin sinken, in Wirklichkeit nach dem aufwärts gewendeten Augenwinkel emporsteigen, wie bei aufrechter Haltung des Kopfes. Bei der letzteren Haltung erscheinen die seitlichen Bewegungen der Mücken allerdings beschränkter als die absteigenden, weil sie seitlich eben nur die Bewegungen des Visirpunktes mitmachen. Eine Bewegung derselben parallel der Gesichtslinie gelang nicht zu constatiren. Viele, obgleich scheinbar von einander getrennt, scheinen sich immer in gleichem Abstande zu begleiten, oder bleiben in derselben Beziehung zu andern Formen, so dafs man berechtigt ist, auf einen 154
unsichtbaren Zusammenhang zu schliefsen. Ihnen entsprechend fand Doncan bei mikroskopischer Untersuchung des freigelegten und unverletzten Glaskörpers von seiner Oberfläche aus darin blasse Zellen, welche in der Verwandlung in Schleimstoff begriffen zu sein schienen, wie in *Fig. 93.* abgebildet sind.

---

[1] A. Doncan *Dissert. de corporis vitrei struct. Trajecti ad Rhenum* 1854. — *Onderzoekingen gedaan in het physiologisch Laborat. der Utrechtsche Hoogeschool.* Jaar VI. 171.

b) Perlschnüre kommen in den meisten Augen vor; DONCAN konnte jedoch keine sehen. Ihre Breite beträgt $^1/_{33}$ bis $^1/_{190}$ mm, ihre Länge 1 bis 4 mm. Die schmalsten liegen gewöhnlich dichter bei, die breiteren und dunkleren entfernter von der Netzhaut, in $^1/_4$ bis 3 mm Abstand. Ihre Bewegungsart ist meist dieselbe wie der vorher beschriebenen Kreise, doch sind sie zuweilen auch befestigt. Einzelne sind isolirt, andere hängen mit anderen Gebilden zusammen. Sie entsprechen Fasern, die mit Körnern besetzt sind *(Fig. 94)*, welche durch das Mikroskop im Glaskörper gefunden werden.



Fig. 93.



Fig. 94.

c) Die zusammenhängenden Gruppen von gröfseren und kleineren, theils blassen, theils dunkeln Kreisen, welche den mikroskopisch gefundenen Körnerhaufen *(Fig. 95)* entsprechen, sind meist undurchscheinender als die übrigen Formen, weil mehrere Körner in der Richtung der Gesichtsaxe hinter einander liegen. Diese sind es, die am häufigsten beim gewöhnlichen Sehen als *Mouches volantes* wahrgenommen werden. Nicht selten scheinen einige von ihnen in der Nähe der Gesichtslinie einen Gleichgewichtszustand einzunehmen; aber sie kommen doch auch bei Bewegungen des Auges auf gleiche Weise und in gleicher Richtung, mit denselben Bewegungen wie die Perlschnüre, in gröfserer Menge zum Vorschein, um das Gesichtsfeld in der Folge wieder zu verlassen.



Fig. 95.

d) Die Falten zeigen sich in Gestalt hellerer Bänder, von zwei dunkleren, nicht scharf gezeichneten Linien begrenzt. DONCAN unterscheidet davon noch wieder zwei Formen. Einige zeigen sich nämlich entweder ähnlich einer stark gefalteten Faser, oder wie verschiedene kleine Bänder, einander sehr nahe, auf unsichtbare Weise mit einander verbunden, oder als ein unregelmäfsig aufgerolltes, in den verschiedensten Richtungen gefaltetes Häutchen, das seine Form constant behält, wie das nach einer mikroskopischen Beobachtung in *Fig. 96* dargestellte. Diese bewegen sich wie die Perlschnüre und liegen nur $2^1/_2$ bis 4 mm von der Netzhaut entfernt. — Davon unterscheiden sich sehr ausgebreitete Häute, die theils dicht hinter der Linse liegen, theils nur 2
155 bis 4 mm von der Netzhaut entfernt, während zwischen 4 und 10 mm



Fig. 96.

Entfernung von der Netzhaut keine getroffen werden. In den ersteren zeigen sich Falten von nicht weniger als $^1/_{23}$ mm Breite, in den letzteren haben sie selten mehr als $^1/_{60}$ mm. Sie kommen zum Vorschein, wenn die Gesichtslinie seitwärts bewegt wird, aber namentlich auch durch eine kräftige, plötzlich abgebrochene Bewegung von oben nach unten. Scheinbar steigen hierbei die dicht hinter der Linse gelegenen Falten nach oben, während umgekehrt die in der Nähe der Netzhaut gelegenen nach unten sinken, so dafs sie sich in der Gesichtslinie an einander vorbei schieben. Meist sieht man nun die gefalteten Häute mehr und mehr undeutlich werden, ohne dafs sie doch aus dem Gesichtsfelde sich entfernten, und doch kommen sie durch Wiederholung der Bewegung aufs neue deutlicher zum Vorschein. Doncan schliefst daraus, dafs diese Häute nur scheinbar eine so ausgebreitete Bewegung haben, und dafs nicht die Häute sich fortbewegen, sondern nur Faltungen sich fortpflanzen, welche sich bei der plötzlich unterbrochenen Bewegung des Auges an der Peripherie formen und sich bis an das andere Ende der Häute ausstrecken, wobei sie ihre Schärfe verlieren und minder sichtbar werden. Die Ursache der verschiedenen Richtung, worin die Bewegung dieser Häute und die Fortpflanzung der Falten stattfindet, ist darin zu suchen, dafs die einen vor, die anderen hinter dem Drehpunkte des Auges liegen. Wenn man die Pupille durch Atropin erweitert, oder den leuchtenden Punkt sehr nahe an das Auge bringt, so dafs man ziemlich weit zur Seite der Gesichtslinie sehen kann, so bemerkt man, dafs namentlich bei kräftigen, plötzlich unterbrochenen seitlichen Bewegungen des Auges noch mehr Häute dicht hinter der Linse zum Vorschein kommen, die selten bis an die Gesichtslinie reichen, und mit einem unregelmäfsigen, zuweilen zerfetzten Rande hier endigen.

Die Bewegungsart der frei beweglichen Objecte des Glaskörpers läfst wohl kaum einen Zweifel, dafs sie kleine Körper sind, welche in einem vollkommen flüssigen Medium schwimmen und specifisch leichter sind als die Flüssigkeit. Da man sie oft durch das ganze entoptische Gesichtsfeld schwimmen sieht, und sie in meinem Auge wenigstens das Gesichtsfeld ebenso gut von oben nach unten, wie von rechts nach links durchschwimmen, dieses aber bei divergirend einfallendem Lichte einen gröfseren Theil der Netzhaut umfafst, als die Pupille beträgt, so mufs das Bassin, in welchem sie sich bewegen, längs der Netzhaut gemessen, jedenfalls gröfser sein als die Pupille. Dagegen scheinen die schwimmenden Körper sich nicht von der Netzhaut entfernen zu können, denn auch bei aufwärts gerichteter Gesichtslinie, wo die Objecte wegen ihrer specifischen Leichtigkeit streben müssen nach der Linsenseite des Glaskörpers hin zu schwimmen, sieht man dieselben Objecte sich längs der Netzhaut hin bewegen, aber nicht von ihr fort. Das Hindernifs mögen wohl die Membranen sein, deren Falten man im entoptischen Gesichtsfelde sieht und welche der Netzhaut parallel zu sein scheinen. Einige solche Körperchen scheinen auch an der Glashaut befestigt zu sein, wie denn Donders mittheilt, dafs er in der Gesichtslinie

seines linken Auges eines vorfinde, welches dort seinen Gleichgewichtsstand habe, und von dort wohl sich senken (scheinbar steigen), aber nicht wirk-
156 lich steigen könne, so dafs es von unten her durch eine fadenähnliche Verbindung mit der Glashaut festgehalten zu werden scheint.

Übrigens lernt man nach einer Reihe entoptischer Beobachtungen die Gebilde des eigenen Auges einzeln kennen, und bemerkt man, dafs immer dieselbe Reihe von Formen wiederkehrt, welche sich nach DONDERS' Beobachtungen viele Jahre unverändert erhalten. Aus der mikroskopischen Untersuchung des Glaskörpers scheint hervorzugehen, dafs diese Gebilde Reste des embryonalen Baues des Glaskörpers sind. Bei Embryonen besteht er aus Zellen, welche nachher meistens in Schleim zerfliefsen, während ein Theil von ihren Membranen und Kernen, oder den Fasern, zu denen sie ausgewachsen sind, bestehen bleibt.

Wir kommen jetzt zur Wahrnehmung der Netzhautgefäfse, für welche aber etwas andere Verfahrungsweisen nothwendig sind, als für die Wahrnehmung der bisher beschriebenen entoptischen Objecte. Das Gemeinsame dieser Methoden besteht darin, dafs die Lage oder Breite des Schattens, den die Netzhautgefässe auf die hintere Fläche der Netzhaut werfen, eine ungewöhnliche werden, und dafs aufserdem eine stete Bewegung dieses Schattens unterhalten werden mufs. Man kann die Netzhautgefäfse nach folgenden drei Hauptmethoden wahrnehmen:

1) Man concentrire starkes Licht, am besten Sonnenlicht, durch eine Sammellinse von kurzer Brennweite auf einen Punkt der äufseren Fläche der Sclerotica möglichst entfernt von der Hornhaut, so dafs ein kleines, aber sehr lichtstarkes Bildchen der Lichtquelle auf der Sclerotica entworfen wird. Wenn dabei das Auge auf ein dunkles Gesichtsfeld blickt, wird dieses ihm jetzt rothgelb erleuchtet scheinen und darin ein Netz baumförmig verästelter dunkler Gefässe erscheinen, entsprechend den in *Fig. 97* nach einem Injectionspräparate abgebildeten Netzhautgefäfsen. Wenn der Brennpunkt auf der Sclerotica hin und her bewegt wird, bewegt sich auch der Gefäfsbaum hin und her, und zwar bewegen sich beide gleichzeitig nach oben, oder beide gleichzeitig nach unten, oder beide nach rechts oder links. Bei solchen Bewegungen ist der Gefäfsbaum deutlicher zu sehen, als wenn man längere Zeit den Brennpunkt der Linse auf einer Stelle beharren läfst; ja im letzteren Falle verschwindet er zuletzt ganz. Doch ist bei der jetzt be-



Fig. 97.

chriebenen Methode der Beobachtung anhaltende Bewegung weniger nöthig ls bei den anderen Methoden. Je kleiner übrigens der helle Fleck auf ler Sclerotica ist, desto stärker sind auch die kleineren Zweige der Gefäfs-erästelung ausgeprägt, so dafs man bei richtiger Ausführung des Versuchs las feinste Capillargefäfsnetz zur Anschauung bringen kann. In der Mitte *157*
les Gesichtsfeldes, dem Fixationspunkte entsprechend, findet sich eine ge-äfslose Stelle, gegen welche verschiedene gröfsere Aeste hinlaufen, deren 'apillargefäfse einen Ring mit langgezogenen Maschen um die genannte stelle bilden. Die Stelle selbst hat in H. Müller's, sowie in meinen beiden ugen ein eigenthümliches Aussehen, wodurch sie sich von dem übrigen runde des Auges unterscheidet. Der letztere ist gleichmäfsig erleuchtet, nit Ausnahme der dunklen Gefäfsfigur, die Stelle des directen Sehens hat inen stärkeren Glanz und sieht dabei wie chagrinirtes Leder aus. Zu be-nerken ist übrigens noch, dafs, wenn man während der Beobachtung dieser stelle einen äufseren Gegenstand fest fixirt, und nun den Brennpunkt der inse auf der Sclerotica nach oben bewegt, der Gefäfsbaum, wie vorher er-vähnt ist, sich ebenfalls nach oben bewegt, der chagrinirte Glanz sich da-gegen ein wenig in entgegengesetzter Richtung nach unten gegen den 'ixationspunkt des Auges verschiebt. Meissner hat diese Stelle ebenfalls bei dieser Beobachtungsmethode heller gesehen, schreibt ihr aber einen lunklen halbmondförmigen Schatten am Rande zu, ähnlich wie er bei der weiten Beobachtungsmethode sichtbar wird. Einen solchen sehe ich nicht, venn das Licht durch die Sclerotica einfällt.

Bei diesem Versuche dringt das Licht durch die Sehnen- und Aderhaut n das Auge. Die erstere ist durchscheinend, die letztere im hinteren Theile des Auges nicht so stark pigmentirt, dafs sie alles Licht abhalten könnte. Vorn auf den Ciliarfortsätzen ist die Pigmentschicht stärker, daher uch bei unserem Versuche die Erleuchtung der Netzhaut ziemlich schwach usfällt, wenn man den Brennpunkt auf den vorderen Theil der Sclerotica nahe der Hornhaut fallen läfst. Die erleuchtete Stelle der Augenhäute bildet nun die Lichtquelle für das Innere des Auges; von ihr gehen nach llen Seiten hin gleichmäfsig Strahlen aus, da das Licht in der nur durch-scheinenden Sehnenhaut nicht regelmäfsig gebrochen, sondern nach allen nöglichen Richtungen zerstreut wird.

Während gewöhnlich das Licht nur von der Pupille her auf die Netz-haut fällt, kommt es jetzt von einem weit seitlich gelegenen Punkte und virft deshalb die Schatten der in den vorderen Schichten der Netzhaut gelegenen Gefäfse auf ganz andere Theile der hinteren Netzhautfläche ls sonst.

Dafs der Gefäfsbaum sich scheinbar in gleichem Sinne wie der Brenn-punkt der Linse bewegen mufs, ist aus *Fig. 98* deutlich. Es sei v der Durchschnitt eines Netzhautgefäfses, k der Knotenpunkt des Auges. Wenn der Brennpunkt des einfallenden Lichts bei a auf der Sclerotica liegt, fällt der Schatten des Gefäfses nach α, das Auge projicirt demgemäfs einen

dunklen Streifen in der Richtung αA in das Gesichtsfeld. Liegt der Brenn punkt in b, so fällt der Schatten nach β, und es wird der dunkle Streife in das Gesichtsfeld nach B verlegt. Während sich also die Lichtquelle voi

158 a nach b bewegt, wird der scheinbare Gefäfsstamm in Gesichtsfelde von A nach B in gleicher Richtung wan dern. Die chagrinirte Fläche um den Visirpunkt herun zeigt die entgegengesetzte Bewegungsart; sie entsteh also jedenfalls nicht in derselben Weise, wie die Ge fäfsschatten entstehen. Im Gesichtsfelde greift auf de dem Lichte abgekehrten Seite der Gefäfsbaum etwas übe den Rand der chagrinirten Stelle, oben und unte scheint er den Rand nur zu berühren, dem Lichte zu gekehrt ist ein Zwischenraum zwischen beiden, gleich viel ob das Licht vom innern oder äufsern Augenwinke einfällt. Es ist dies wohl dadurch bedingt, dafs di Gefäfsverzweigungen mehr nach vorn liegen als di Schicht, welche durch Brechung oder Zurückwerfung de Lichts das chagrinirte Aussehen erzeugt, und daher be schief einfallendem Lichte der Schatten der Gefäfsfigu auf der Hinterfläche der Netzhaut nicht senkrecht unter den Gefäfsen lieg. Diejenige Structur, welche das chagrinirte Aussehen hervorruft, schein demnach ziemlich genau dieselbe Ausdehnung zu haben, wie die gefäfslos Stelle der Netzhaut.

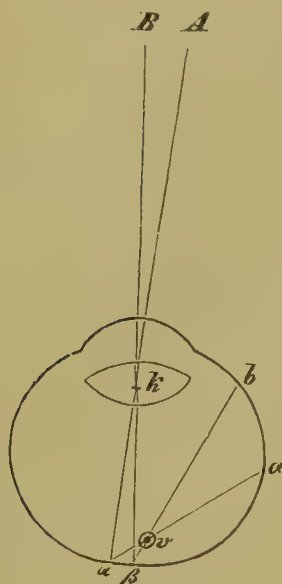


Fig. 98.

n Dieselbe Erscheinung wird auch nach der unter 3) angeführten Methoc sichtbar, nach welcher unter Andern Herr L. Wolffberg[1] sie beobachte und zu Messungen benutzt hat. Derselbe hat die Feinheit der Gran lirung mit der von Körnern und Glasperlen zu vergleichen gesucht, u findet, dafs dieselben der Gröfse nach den Zapfen der Netzhautgrube er sprechen. Zu der gleichen Meinung ist auch J. P. Nuel[2] gekommen, obglei seine Gröfsenschätzungen weniger gut zur Gröfse der Zapfen stimmen.

Andere Erscheinungen, die bei intermittirendem Licht gesehen werde deren Beziehung auf Netzhautelemente aber noch sehr zweifelhaft is werde ich in § 23 erwähnen.

158 2) Die zweite Methode zur Beobachtung der Netzhautgefäfse ist folgend Man blicke auf einen dunklen Hintergrund hin und bewege dabei unterha oder seitlich vom Auge ein brennendes Licht hin und her. Man sieht da den dunklen Hintergrund von einem matten weifslichen Scheine überzoge in welchem sich der dunkle Gefäfsbaum abzeichnet. Die Figur bleibt n so lange deutlich, als man das Licht bewegt. Wenn man das Licht n von rechts nach links bewegt, erscheinen hauptsächlich die von oben na

---

[1] L. Wolffberg, *Die entoptische Wahrnehmung der Fovea centralis und ihrer Zapfenmosaik.* *Archiv Augenheilkunde.* XVI. 1886.

[2] J. P. Nuel, *De la vision entoptique de la fovea centralis.* *Archives de Biologie par* van Beneden *et* V Bambeke. T. IV. 1883. *Annales d'Oculistique.* T. XCI. p. 95.

unten verlaufenden Gefäfse, wenn man es von oben nach unten bewegt, die horizontal verlaufenden. Bei den Bewegungen des Lichts bewegt sich gleichzeitig der ganze Gefäfsbaum, aber nicht in allen seinen Theilen gleichmäfsig. Meissner vergleicht sehr passend die Art der Bewegung des Gefäfsbaums hierbei mit dem Ansehen eines vom Wasser entworfenen Spiegelbildes, wenn Wellen darüber fortlaufen. Bei näherer Untersuchung der Erscheinung zeigt sich, dafs wenn abwechselnd das Licht gegen die Gesichtslinie hin und von ihr wegbewegt wird, der Gefäfsbaum im Gesichtsfelde sich in gleicher Richtung wie das Licht verschiebt. Wenn aber das Licht in Richtung eines Kreisbogens bewegt wird, dessen Mittelpunkt in der Gesichtslinie liegt, verschiebt sich der Gefäfsbaum in entgegengesetzter Richtung. Wird also z. B. das Licht unter dem Auge gehalten und vertical nach oben und unten bewegt, so bewegt sich auch der Gefäfsbaum im Gesichtsfelde mit dem Lichte zugleich nach oben und nach unten; wird es horizontal unter dem Auge von rechts nach links bewegt, so geht der Gefäfsbaum nach rechts, wenn das Licht nach links, und umgekehrt.

Die inneren Äste des Gefäfsbaums erscheinen nicht in so grofser Feinheit der Zeichnung wie bei den beiden anderen Methoden.

In der Mitte, dem Visirpunkte entsprechend, beschreiben mehrere Beobachter eine helle kreisförmige oder elliptische Scheibe. *Fig. 99.* ist die *159*
Abbildung, welche Burow davon gegeben hat. Sie ist an dem der Flamme zugewendeten Rande durch einen dunklen halbmondförmigen Schatten gesäumt, in der Mitte am hellsten. H. Müller sieht diese Scheibe gar nicht, und ich selbst sehe immer nur den halbmondförmigen Schatten, welcher die dem Lichte zugekehrte Seite ihrer Peripherie bildet, während die andere Seite keine entschiedene Begrenzung darbietet. Auch diese centrale Scheibe bewegt sich bei Bewegungen des Lichts. Man überzeugt sich davon, wenn man, während man die Erscheinungen wahrnimmt, einen äufseren Punkt fixirt. Bei mir liegt der Fixationspunkt immer an dem dem Lichte zugewendeten Theile des Randes der hellen Scheibe, wenn ich den halbmondförmigen Schatten meines Auges zur Scheibe ergänzt denke.



Fig. 99.

Die vollständige Theorie dieser Erscheinungen ist von H. Müller gefunden worden, und ist folgende: Die Lichtquelle für die Beleuchtung des inneren Auges ist in diesem Falle das Netzhautbildchen der Lichtflamme, welches, da das Licht weit vom Centrum des Gesichtsfeldes absteht, auf dem Seitentheile der Netzhaut entworfen wird. Da das Licht sich übrigens dem Auge sehr nahe befindet, kann sein Netzhautbild ziemlich grofs sein und genügend viel Licht in den Glaskörper hinein zurückwerfen, um eine

merkliche Lichtperception in der ganzen Netzhaut anzuregen. Die Art der Beleuchtung ist also ähnlich derjenigen der ersten Methode, nur dadurch unterschieden, dafs die Licht aussendende Stelle der Augenwand ihr Licht nicht von aufsen durch die Sclerotica, sondern von vorn durch die Pupille empfängt. Da die Bilder auf den Seitentheilen der Netzhaut nicht schar sind, das Bildchen der Flamme in diesem Falle, um hinreichend Licht zu geben, auch ziemlich ausgedehnt sein mufs, so erklärt es sich leicht, dafs man die Einzelheiten der feineren Gefäfsverzweigungen nicht so gut wahr nimmt wie bei der ersten Methode. Die Art der Bewegung des Gefäfsbaum erklärt sich vollständig aus H. MÜLLER's Theorie. Es sei in *Fig. 100* der Knotenpunkt des Auges und v ein Netzhautgefäfs. Wenn die Licht quelle in a sich befindet, fällt ihr Netzhautbild nac b, das von b ausgehende Licht wirft den Schatte des Gefäfses v nach c, und wenn wir $c\,k$ ziehen un verlängern, ist diese Verlängerung $k\,d$ die Richtung in welcher der Schatten des Gefäfses v im Gesicht felde erscheint. Bewegen wir den Lichtpunkt von nach α, so rückt b nach β, c nach γ, d nach δ; e verschiebt sich also d in gleichem Sinne wie a. Wen hingegen a sich senkrecht gegen die Ebene der Zeic nung bewegt, ist es umgekehrt. Wenn a vor de genannten Ebene steht, liegt b dahinter, c wieder d vor, d dahinter. Wenn also a sich nach vorn (v die Ebene der Zeichnung) bewegt, bewegt sich d nac hinten, und umgekehrt, ganz wie es den Beobac tungen entspricht.

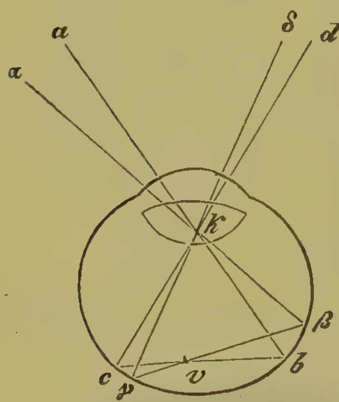


Fig. 100.

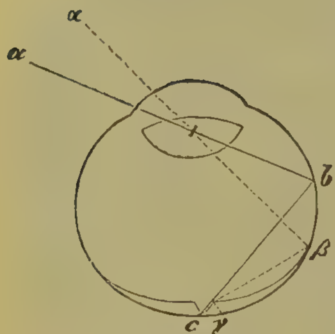


Fig. 101.

Die Erscheinung der hellen Scheibe in d Mitte des Gesichtsfeldes mit dem halbmondförmig Schatten erklärt H. MÜLLER nicht ohne Wahrschei lichkeit für den Schatten der Netzhautgrube. We in *Fig. 101* bei c die Netzhautgrube sich befind und in ihrer Tiefe die Stelle des directen Sehe

160 das Licht bei a steht, sein Netzhautbild bei b, so wird der Schatt des nach b hingewendeten erhabenen Randes der Netzhautgrube gera auf den Visirpunkt fallen, und der ganze Schatten der Netzhautgrube a der Netzhaut selbst vom Visirpunkte aus dem hellen Bilde b, und entsprechend i Gesichtsfelde dem Lichte a zugewendet sein, wie dies die Beobachtung leh Wenn man das Licht a mehr der Gesichtslinie nähert, und infolge davon näher nach c rückt, bemerke ich in meinem Auge einen hellen Streifen der Aufsenseite des halbmondförmigen Schattens, der wohl von Licht h rührt, welches von hinten, von der Netzhautseite her, auf die Oberfläche der Ne hautgrube gefallen und dort reflectirt ist, wie es in *Fig. 101* durch den pu tirten Strahl $\alpha\,\beta\,\gamma$ angedeutet ist. Bei Personen, deren Netzhautgrube wenig steil ansteigende Seiten hat, kann dagegen ein solcher Schatten ganz fehl

3) Die dritte Methode zur Beobachtung der Netzhautgefäfse besteht darin, dafs man durch eine enge Öffnung nach einem breiten lichten Felde, z. B. dem hellen Himmel blickt und die Öffnung vor der Pupille schnell hin und her bewegt. Die Netzhautgefäfse erscheinen sehr fein gezeichnet, dunkel auf dem hellen Grunde, und bewegen sich im Gesichtsfelde gleichsinnig mit der Öffnung. In der Mitte, entsprechend dem Visirpunkte, sieht man die gefäfslose Stelle, die mir ein fein granulirtes Ansehen zu haben scheint, und in welcher sich ein runder Schatten bei den Bewegungen der Öffnung herumbewegt. Bei horizontalen Bewegungen der Öffnung sieht man nur die verticalen Gefäfse, bei verticalen Bewegungen die horizontal verlaufenden. Dieselbe Gefäfsfigur sieht man auch, wenn man in ein zusammengesetztes Mikroskop hineinblickt, ohne ein Object unterzulegen, so dafs man nur den gleichmäfsig hellen Kreis der Blendung sieht. Wenn man das Auge über dem Mikroskope etwas hin und her bewegt, erscheinen in der Blendung des Mikroskops die Gefäfse der Netzhaut sehr fein und scharf gezeichnet, und zwar besonders deutlich immer die Gefäfse, welche senkrecht gegen die Richtung der Bewegung verlaufen, während diejenigen verschwinden, welche der Richtung der Bewegung parallel sind.

Nach den beiden ersten Methoden fiel das Licht aus einer ungewöhnlichen Richtung her auf die Netzhaut, und es fiel deshalb auch der Schatten der Netzhautgefäfse auf Theile der Netzhaut, welche bei dem gewöhnlichen Sehen von diesem Schatten nicht getroffen werden, und von denen die Beschattung daher als ein ungewöhnlicher Zustand leicht empfunden wird. Bei der beschriebenen dritten Methode dagegen fällt das Licht auf dem gewöhnlichen Wege, nämlich durch die Pupille, in das Auge. Ist die ganze Pupille frei und das Auge nach dem hellen Himmel gewendet, so gehen von jedem Punkte der Pupillarebene nach jeder Richtung in den Hintergrund des Auges hinein Lichtstrahlen aus, ganz so als wäre die Pupille selbst die leuchtende Fläche. Unter dem Einflusse dieser Beleuchtung müssen die Netzhautgefäfse einen breiten verwaschenen Schatten auf die hinter ihnen liegenden Netzhautpartien werfen, wobei der Kernschatten etwa nur vier bis fünf mal so lang sein wird, als der Durchmesser des Gefäfses. Da nach E. H. Weber der dickste Ast der *Vena centralis* 0,017 Par. Linien (0,038 mm) im Durchmesser hat, und die Netzhaut nach Kölliker im Hintergrunde des Auges 0,22 mm dick ist, läfst sich annehmen, dafs der Kernschatten 161
der Gefäfse nicht bis zur hinteren Fläche der Netzhaut reichen wird. Wenn wir aber eine enge Öffnung vor die Pupille bringen, wird der Schatten der Gefäfse nothwendig schmaler, schärfer begrenzt, der Kernschatten länger, so dafs Theile der Netzhaut, die sonst im Halbschatten lagen, theils in den Kernschatten kommen, theils mit den unbeschatteten Theilen gleich stark erleuchtet werden.

Dafs wir beim gewöhnlichen Sehen die Gefäfsschatten nicht wahrnehmen, erklärt sich wohl daraus, dafs die Empfindlichkeit der beschatteten Stellen der Netzhaut gröfser, ihre Reizbarkeit weniger erschöpft ist als die der

übrigen Theile der Netzhaut. Sobald wir aber den Ort des Schattens oder seine Ausbreitung verändern, wird derselbe wahrnehmbar, weil die schwache Beleuchtung nun auf ermüdete, weniger reizbare Netzhautelemente fällt. Der reizbarere, früher beschattete Theil der Netzhautelemente dagegen wird nun zum Theil von vollem Lichte getroffen, und empfindet dies stärker. Daher erklärt sich, dafs zuweilen, namentlich im Anfange der Versuche, der Gefäfsbaum für Augenblicke auch wohl hell auf dunklerem Grunde erscheint und überhaupt bei manchen Personen der helle Theil der Erscheinung die Aufmerksamkeit mehr auf sich lenken kann, als der dunkle. Sobald der Schatten der Gefäfse indessen bei unseren Versuchen seine neue Stelle dauernd behauptet, werden die neu beschatteten Stellen allmälig reizbarer, die früher beschatteten scheinen dagegen ihre erhöhte Reizbarkeit schnel zu verlieren, und die Erscheinung verschwindet wieder. Um sie dauern zu sehen, ist es also nöthig, den Ort des Schattens stets wechseln zu lassen, und bei geradlinigen Bewegungen der Lichtquelle bleiben nur die Gefäfse sichtbar, deren Schatten den Platz wechselt. Auf diese Veränderungen der Reizbarkeit kommen wir in § 24 unten noch näher zurück.

837 Vierordt[1] hat auf hellen Flächen bei intermittirender Beleuchtung — er bewegte vor den Augen die Hand mit gespreizten Fingern hin und he — eine strömende Bewegung gesehen, die er für die Blutbewegung in de Netzhautgefäfsen erklärte; Meissner und ich selbst haben diese Bewegun nur in Form uferloser Strömchen gesehen, denen ich Vierordt's Deutun nicht zu geben wagte. Doch folgt daraus nicht, dafs Vierordt die Erscheinung nicht deutlicher und bestimmter gesehen haben kann, und dafs e nicht wirklich bei ihm ein Ausdruck des Blutlaufs war.

Aufserdem hatten Purkinje[2] und J. Müller[3], wenn sie nach eine ausgedehnten hellen Fläche blickten, helle Punkte im Gesichtsfelde erschenen und eine Strecke fortlaufen sehen, so dafs dieselben nach unregelmäfsige Pausen immer wieder an denselben Stellen auftauchen und immer wiede denselben Weg mit derselben ziemlich grofsen Geschwindigkeit zurücklege. Diese Erscheinung sieht man nun nach einer Bemerkung von O. N. Roo sehr viel besser, wenn man durch ein dunkles blaues Glas nach dem Himm sieht. Ich fixire dabei einen Punkt der Fensterscheibe, um die bewegte Körperchen immer wieder an derselben Stelle zu sehen und die Lage ihr Bahnen mit der auf dieselbe Fensterscheibe projicirten Gefäfsfigur zu ve gleichen.

Nachdem ich diese Beobachtungen wiederholt habe, glaube ich m ebenfalls nicht mehr zweifeln zu können, dafs sie von der Blutbewegun herrühren, und zwar so, dafs ein einzelnes gröfseres Körperchen sich einem der engeren Gefäfse klemmt. Dann pflegt vor einem solchen d Gefäfs relativ leer zu werden, hinter ihm dagegen stauen sich die Bl

---

[1] K. Vierordt im *Archiv für physiol. Heilkunde.* 1856. Heft II.
[2] J. E. Purkinje, *Beobachtungen und Versuche.* I. 127.
[3] J. Müller, *Physiologie.* II. 390.

Körperchen in gröfserer Menge an. Sobald das Hemmnifs sich löst, strömt der ganze Haufen schnell davon. Es sind dies Vorgänge, die man bei Beobachtung des Capillarkreislaufes mit dem Mikroskope oft sieht. Bei dem genannten Versuche geht im Sehfelde voran ein hellerer länglicher Streifen, entsprechend der leeren Stelle des Gefäfses vor dem Hemmnifs; diesem folgt ein dunklerer Schatten, der, wie ich glaube, den zusammengedrängten Blutkörperchen entspricht.

In meinem rechten Auge sehe ich diese Erscheinung in zwei parallelen Gefäfschen links neben dem Fixationspunkt sehr deutlich und oft sich wiederholen, zuweilen in beiden gleichzeitig; die Bewegung ist scheinbar nach 838
oben gerichtet und das bewegte Gebilde verschwindet, indem es sich mit beträchtlich gesteigerter Geschwindigkeit durch eine *S*förmige Krümmung hindurchwindet. Nun finde ich im entoptischen Bilde des Gefäfsbaums sowohl die beiden parallelen Gefäfse an der angegebenen Stelle, als auch die *S*förmige Krümmung ihrer Vereinigungsstelle, welche in ein gröfseres Venenstämmchen hinüberführt, so dafs beide Beobachtungsmethoden sich vollständig entsprechen. Übrigens sind die genannten Gefäfse nicht die einzigen, in denen eine solche Bewegung sichtbar wird, sondern es giebt noch viele andere Stellen in dem Sehfelde desselben Auges, die aber weiter vom Fixationspunkte abliegen und nicht so charakteristische Formen haben.

Danach würde die genannte Erscheinung also als der optische Ausdruck kleiner Hemmungen des Blutlaufs zu betrachten sein, die nur in gewissen Engpässen des Gefäfsbaums und nur beim Vorübergang etwas gröfserer Körperchen aufzutreten pflegen.

Um zu entscheiden, ob die entoptisch gesehenen Objecte vor oder hinter der Pupille 161
oder etwa nahe der Netzhaut liegen, dazu ist die Beachtung der Parallaxe nach Listing's Vorschlag ausreichend. Es sei *a Fig. 102* das von den Augenmedien entworfene Bild des leuchtenden Punktes *c* der Punkt des directen Sehens auf der Netzhaut, *fe* die Ebene der Pupille oder vielmehr deren von der Linse entworfenes Bild, welches indessen nur wenig von seinem Objecte abweicht. Endlich sei *d* ein dunkles Object hinter der Pupille. Wenn die Linie *ac* die Pupille in *g* schneidet, so fällt der Schatten des Punktes *g* auf den Punkt des directen Sehens *c*, also *g* entspricht dem direct gesehenen Punkte des entoptischen Bildes der Pupille. Ziehen wir die gerade Linie *ad*, und verlängern sie, bis sie die Netzhaut in *b* schneidet, so ist *b* der Ort des Schattens von *d*. Nennen wir den Durchschnittspunkt der Linie *ad* mit der Pupillarebene *h*, so fällt die Projection des Punktes *h* der Pupille gleichzeitig auf *b*; *d* und *h* decken sich im entoptischen Gesichtsfelde. Wenn in der Linie *ab* auch noch vor der Pupille ein Object *i* liegt, so deckt sich dieses ebenfalls mit *h* im entoptischen Gesichtsfelde.

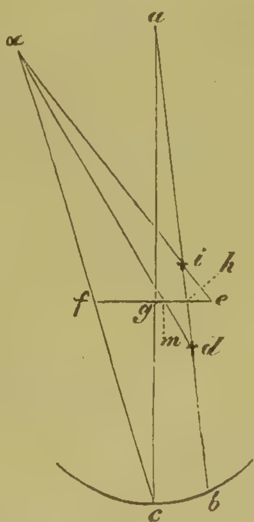


Fig. 102.

Wenn nun aber das Auge oder der leuchtende Punkt so bewegt wird, dafs ein anderer Punkt der Pupille, etwa *f*, entoptisch direct gesehen wird, der leuchtende Punkt etwa nach *α* in die Verlängerung der Linie *cf* rückt, so verändert sich auch die Lage des Schattens von *d* und *i* gegen den der Pupille. Ziehen wir *αd* und *αi*. Ersteres schneide die Ebene der Pupille in *m*, letzteres verlängert in *e*, so sind *m* und *e* die

Punkte der Pupille, deren entoptische Bilder sich mit denen der Objecte *d* und *i* jetzt
162 decken. Während also der Visirpunkt in dem entoptischen Bilde von *g* nach *f* gerückt ist, hat das Bild des hinter der Pupille gelegenen Objects *d* eine Bewegung in gleichem Sinne von *h* nach *m*, das Bild des vor der Pupille gelegenen Objects in entgegengesetztem Sinne von *h* nach *e* ausgeführt. Nach der Bezeichnungsweise von Listing hat also *d* eine positive Parallaxe, und *i* eine negative. Es ist bei geringer Übung immer leicht zu entscheiden, ob die entoptisch gesehenen Objecte sich im Verhältnifs zu der kreisförmigen Begrenzung des Gesichtsfeldes in gleichem oder entgegengesetztem Sinne wie der Visirpunkt verschieben, und danach entscheidet man leicht, ob sie vor oder hinter der Pupille liegen.

Um die Entfernung der im Glaskörper schwebenden Objecte genauer messen zu können, hat D. Brewster zuerst eine Methode eingeschlagen, bei welcher er zwei Bündel homocentrischer Strahlen in das Auge dringen liefs, und dadurch zwei Schatten eines jeden Objects erzeugte. Aus der Entfernung der Schatten von einander kann dann die Entfernung des Objects von der Netzhaut gefunden werden. Brewster sah zu dem Ende durch eine vor dem Auge stehende Linse nach zwei neben einander gestellten Flammen hin. Donders hat diese Methode geändert, indem er vor das Auge ein Metallplättchen mit zwei kleinen, $1^1/_2$ mm von einander entfernten Öffnungen bringt. Durch diese sieht er nach einem weifsen, stark erleuchteten Papiere hin, auf welchem die entoptischen Erscheinungen projicirt erscheinen. Er mifst nun den Abstand der Mittelpunkte der beiden sich gegenseitig bedeckenden kreisförmigen Bilder der Pupille, welcher einfach dadurch gefunden wird, dafs man den Durchmesser des unbedeckten Theiles dieser Kreise mifst. Ferner mifst er den Abstand der Doppelbilder des betreffenden entoptischen Objects. Der letztere verhält sich zum Abstande der beiden Kreise wie der Abstand des Objects von der Netzhaut, welcher gefunden werden soll, zum scheinbaren Abstande der Pupille von der Netzhaut (18 mm). So kann der Abstand der Objecte von der Netzhaut leicht berechnet werden.

Doncan hat die Methode von Donders insofern geändert, dafs er seine Messungen nach dem Principe der mikroskopischen Messung *à double vue* ausführt. Das eine Auge blickte durch eine oder zwei feine Öffnungen nach einem kleinen Hohlspiegel, der das Licht des Himmels reflectirte, das andere auf eine in der Entfernung des deutlichen Sehens gelegene Tafel, und der Beobachter mifst mit dem Zirkel auf dieser Tafel die Gröfse der entoptischen Objecte und den Abstand ihrer Doppelbilder, sowie den Abstand entsprechender Punkte am Rande der Iris. Um aus der scheinbaren Gröfse der entoptischen Objecte ihre wahre Gröfse zu berechnen, mufs man noch den Abstand der Öffnung, durch welche man sieht, von der Hornhaut kennen. Am besten ist es, diese Öffnung in den vorderen Brennpunkt des Auges (12 mm vor der Hornhaut) anzubringen; dann sind die Schatten der entoptischen Objecte so grofs wie die Objecte selbst. Die mit dem Zirkel gemessene scheinbare Gröfse dieser Objecte im Gesichtsfelde verhält sich aber zur wahren Gröfse des Schattens auf der Netzhaut wie die Entfernung des messenden Zirkels vom Auge zur kleineren Hauptbrennweite des Auges (15 mm).

Um das Plättchen mit der Öffnung wenigstens nahehin in die vordere Brennebene des Auges zu bringen, befestigt man es am Ende eines kurzen Röhrchens von passender Länge.

Die scheinbare Gröfse der Bewegung des Gefäfsbaums im Gesichtsfelde bei der ersten eben beschriebenen Methode, ihn sichtbar zu machen, hat H. Müller gemessen, während gleichzeitig die Gröfse der Verschiebung des leuchtenden Brennpunktes an der Sclerotica mit dem Zirkel gemessen wurde. Es kann daraus, wenigstens annähernd durch Construction oder Rechnung die Entfernung der Schatten werfenden Gefäfse von der den Schatten wahrnehmenden Schicht der Netzhaut bestimmt werden. Man zeichne, wie in *Fig. 103*, den Querschnitt des Auges in natürlicher Gröfse. Der Brennpunkt auf der Sclerotica sei zwischen den Punkten *a* und *b* hin und her bewegt. Es sei *α* der Schatten eines in der Nähe des gelben Flecks gelegenen Gefäfses *v*, dessen scheinbare
163 Bewegung man gemessen hat, für die Lage des Lichtpunktes in *a*, so mufs dies Gefäf-

in der geraden Linie $\alpha\, a$ liegen. Es sei $\alpha\,\beta$ die aus der scheinbaren Verschiebung des Gefäfses im Gesichtsfelde berechnete wahre Verschiebung auf der Netzhaut, also β der Ort des Gefäfsschattens für den Fall, wo sich der Brennpunkt in b befindet. Man ziehe die gerade Linie $b\,\beta$. Der Punkt v, wo $b\,\beta$ und $a\,\alpha$ sich schneiden, mufs dann der Ort des Gefäfses sein, dessen Entfernung von der Netzhaut durch Messung oder Rechnung gefunden werden kann. H. MÜLLER erhielt auf diese Weise in mehreren Versuchen für die Entfernung der Gefäfse von der empfindenden Schicht 0,17; 0,19 bis 0,21; 0,22; 0,25 bis 0,29; 0,29 bis 0,32 mm. Bei drei anderen Beobachtern 0,19; 0,26; 0,36 mm. Da nach den anatomischen Messungen desselben Beobachters die Entfernung der Gefäfse von den Stäbchen und Zapfen in der Gegend des gelben Flecks zwischen 0,2 und 0,3 mm beträgt, so wird es daraus wahrscheinlich, dafs die Zapfen die den Schatten empfindenden Gebilde seien, worauf auch andere Verhältnisse hindeuten, welche ich in § 18 auseinandersetzen werde.

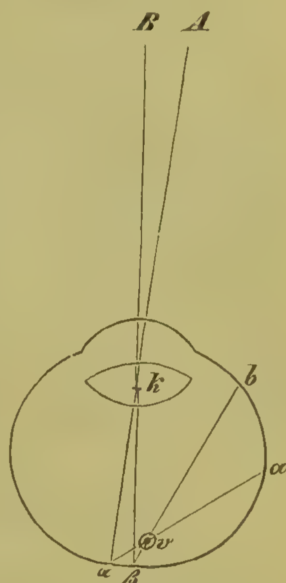


Fig. 103.

DECHALES[1], ein Jesuit des 17. Jahrhunderts, stellte zuerst eine Ansicht über die Entstehung der fliegenden Mücken auf, und zwar die richtige, dafs es Schatten seien von Körperchen, die in der Nähe der Netzhaut schwimmen. PITCAIRN[2] verlegte sie dagegen auf die Netzhaut selbst, und MORGAGNI[3] in alle Augenmedien, obgleich die weiter nach vorn liegenden ohne die Anwendung schmaler Lichtquellen nicht wohl gesehen sein können. Ebenso irrt auch DE LA HIRE[4], wenn er die festen Mücken ausschliefslich auf die Netzhaut verlegt, die beweglichen in die wässerige Feuchtigkeit. LE CAT[5] beschreibt einen Versuch, der dem Principe nach die Methode der entoptischen Untersuchung vollständig enthält, indem er das umgekehrte Schattenbild einer dicht vor das Auge gehaltenen Nadel im Zerstreuungskreise eines kleinen Lichtspunktes wahrgenommen hat. Auch AEPINUS[6] hat etwa zu derselben Zeit den Schatten der Iris, die Erweiterung und Verengerung der Pupille entoptisch wahrgenommen und richtig verstanden. Aber erst seit 1760[7] hat man angefangen, kleine Öffnungen und starke Linsen anzuwenden, um die fliegenden Mücken deutlicher zu sehen, welches Verfahren übrigens auch dem DECHALES nicht ganz unbekannt gewesen war.

Eine strengere Theorie der Erscheinungen, und die Methoden den Ort der Körperchen im Auge zu beurtheilen, wurden erst viel später durch LISTING[8] und BREWSTER[9] festgestellt, denen später DONDERS[10] folgte. Des Letzteren Schüler DONCAN[11] wies dann die Übereinstimmung der entoptisch gesehenen Gegenstände mit mikroskopischen Structuren des Glaskörpers nach; dasselbe versuchte JAMES JAGO[12]. Beschreibungen der verschiedenen Formen entoptischer Objecte gaben aufser den eben Genannten auch STEIFENSAND[13], MACKENZIE[14], APPIA[15].

---

1 DECHALES, *Cursus seu mundus mathematicus.* Lugduni 1690. T. III. p. 402.
2 PITCAIRN, *Pitcairnii opera.* Lugd. Bat. p. 203. 206.
3 MORGAGNI, *Adversaria anatomica* VI. Anim. LXXV. p. 94. Lugd. Bat. 1722.
4 Ph. DE LA HIRE, *Accidens de la vue.* p. 358.
5 LE CAT, *Traité des sens.* Rouen 1740. p. 298.
6 AEPINUS, *Novi Comment.* Petropol. Vol. VII. p. 303.
7 *Histoire de l'Acad. d. sciences.* 1760. p. 57. Paris 1766.
8 J. LISTING, *Beitrag zur physiologischen Optik.* Göttingen 1845.
9 D. BREWSTER, *Transactions of the Roy. Soc. of Edinb.* XV. 377.
10 F. C. DONDERS, *Nederl. Lancet.* 1846—47. 2te Serie. D. II. bl. 345. 432. 537.
11 A. DONCAN, *De corporis vitrei structura. Diss.* Utrecht 1854; *Onderzoekingen ged. in het Physiol. Laborat. d. Utrechtsche Hoogeschool.* Jaar VI. p. 171.
12 J. JAGO, *Proceed. Roy. Soc.* 18. Jan. 1855.
13 K. A. STEIFENSAND, *Poggendorff's Ann.* LV. p. 134; *v. Ammon's Monatsschrift f. Med.* I. 203.
14 MACKENZIE, *Edinburgh Medical and Surgical Journal.* July 1815.
15 APPIA, *De l'oeil vu par lui même.* Genève 1853.

Die subjective Erscheinung der Centralgefäfse hat PURKINJE[1] zuerst entdeckt und sie nach den drei oben beschriebenen Methoden sichtbar gemacht. Auch bei Erregung des Auges durch Druck und Blutandrang hat er sie wahrgenommen. GUDDEN[2] machte auf die für die Theorie der Erscheinung wichtige Bedeutung der Bewegung des Schattens aufmerksam. Die Theorie der Erscheinung bei der Anwendung homocentrischen Lichts von der Pupille aus oder eines Brennpunktes auf der Sclerotica schien keine Schwierigkeit zu haben. Wohl aber machte MEISSNER[3] auf die abweichenden Verhältnisse aufmerksam,
164 welche bei der Bewegung eines Lichts unterhalb des Auges eintreten, und leitete daraus Bedenken gegen die bisherige Erklärungsweise überhaupt ab. Diese wurden von H. MÜLLER[4] beseitigt, welcher die oben hingestellte Theorie dieser Art des Versuchs fand.

Schon PURKINJE erwähnt, dafs in der Mitte des Gesichtsfeldes ein heller Fleck erschiene, der einer Grube ähnlich sehe; BUROW[5] beschrieb die entoptische Erscheinung des gelben Flecks genauer, deutete sie aber als die Erscheinung einer Hervorragung, nicht eines Grübchens, vermöge der unrichtigen älteren Theorie des Versuchs, die durch H. MÜLLER verbessert wurde.

§ 16. Das Augenleuchten und der Augenspiegel.

Von dem Lichte, welches auf die Netzhaut gefallen ist, wird ein Theil absorbirt, namentlich durch das schwarze Pigment der Aderhaut, ein anderer Theil wird diffus reflectirt, und kehrt durch die Pupille nach aufsen zurück.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen nehmen wir nichts von dem Lichte wahr, welches aus der Pupille eines anderen Auges zurückkehrt, diese erscheint uns vielmehr ganz dunkelschwarz. Der Grund hiervon ist hauptsächlich in den eigenthümlichen Brechungsverhältnissen des Auges zu suchen, zum Theil auch darin, dafs von den meisten Stellen des Augenhintergrundes wegen des schwarzen Pigments verhältnismäfsig wenig Licht zurückgeworfen wird.

Bei allen Systemen brechender Flächen, welche ein genaues Bild eines leuchtenden Punktes entwerfen, können die Lichtstrahlen genau auf denselben Wegen, auf denen sie von dem leuchtenden Punkte zu dessen Bilde gegangen sind, auch rückwärts von dem Bilde zu dem leuchtenden Punkte zurückgehen. Oder wenn man den leuchtenden Punkt an den Ort des Bildes bringt, wird nun das Bild an dem früheren Orte des leuchtenden Punktes entworfen.

Daraus folgt: Wenn das menschliche Auge genau für einen leuchtenden Körper accommodirt ist, und von diesem ein genaues Bild auf seiner Netzhaut entwirft, und wir betrachten nun die erleuchtete Stelle der Netzhaut als ein zweites leuchtendes Object, so wird deren von den Augenmedien
165 entworfenes Bild genau mit dem ursprünglich leuchtenden Körper zusammenfallen, d. h. alles Licht, welches von der Netzhaut aus dem Auge zurückkehrt, wird aufserhalb des Auges direct zu dem leuchtenden Körper zurückgehen, und nicht neben ihm vorbei. Das Auge des Beobachters würde

---

1 J. E. PURKINJE, *Beiträge zur Kenntnifs des Sehens.* 1819. S. 89. *Neue Beiträge.* 1825. S. 115. 117.
2 GUDDEN, *J. Müller's Archiv für Anat. u. Physiol.* 1849. S. 522.
3 MEISSNER, *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans.* 1854.
4 H. MÜLLER, *Verhandl. der med.-physik. Ges. zu Würzburg.* IV. 100. V. Lief. 3.
5 A. BUROW, *J. Müller's Arch.* 1854. S. 166.

sich, um etwas von diesem Lichte aufzufangen, zwischen den leuchtenden Körper und das beleuchtete Auge einschieben müssen, was ohne weitere Hülfsmittel natürlich nicht angeht, ohne dem beleuchteten Auge das Licht abzuschneiden.

Ebenso wenig kann der Beobachter Licht aus dem Auge eines Anderen zurückkehren sehen, wenn dies letztere für die Pupille des Beobachters genau accommodirt ist. Unter diesen Umständen wird nämlich ein genaues dunkles Bild der Pupille des Beobachters auf der Netzhaut des beobachteten Auges entworfen werden. Rückwärts werden die Augenmedien ein Bild dieser dunklen Stelle der Netzhaut gerade auf die Pupille des Beobachters werfen, und somit wird dieser gerade nur den Wiederschein seiner eigenen schwarzen Pupille in der fremden sehen.

Daher kommt es, dafs man unter gewöhnlichen Umständen auch die stärker Licht reflectirenden Theile im Hintergrunde eines fremden Auges nicht sieht, wie z. B. die weifse Eintrittsstelle des Sehnerven, die Gefäfse. Auch bei Albinos, Personen, denen das Pigment der Chorioidea fehlt, erscheint die Pupille schwarz, sobald man durch einen dunklen, vor ihr Auge gehaltenen Schirm, der nur eine Öffnung von der Gröfse der Pupille zum Durchsehen hat, verhindert, dafs Licht durch ihre Sclerotica in das Innere des Auges dringt.[1] Letzteres ist es, welches das gewöhnliche rothe Ansehen der albinotischen Pupille bewirkt. Ebenso erscheint das Objectglas einer *Camera obscura* von vorn gesehen schwarz, wenn der Beobachter sie aus der Entfernung solcher Gegenstände, für die sie eingestellt ist, betrachtet; selbst dann, wenn man als Schirm zum Auffangen des Bildes ein weifses Blatt Papier angebracht hat.

Ist dagegen das beleuchtete Auge weder für den leuchtenden Gegenstand, noch für die Pupille des Beobachters genau accommodirt, so ist es möglich, dafs der Beobachter einiges von dem aus der Pupille zurückkehrenden Lichte wahrnimmt; die Pupille erscheint ihm dann leuchtend.

Es ist leicht einzusehen, dafs der Beobachter von allen denjenigen Punkten der Netzhaut des beobachteten Auges Licht empfangen kann, auf welche das Zerstreuungsbild seiner eigenen Pupille fällt. Supponiren wir einen Augenblick statt der Pupille des Beobachters eine leuchtende Scheibe, deren Zerstreuungsbild in dem beobachteten Auge genau mit dem Zerstreuungsbilde jener Pupille zusammentreffen würde, so gehen Lichtstrahlen von einem oder mehreren Punkten dieser leuchtenden Scheiben nach jedem Punkte ihres Zerstreuungsbildes hin, es können also auch rückwärts Lichtstrahlen von jedem Punkte der Netzhaut, der dem Zerstreuungskreise angehört, nach einem oder mehreren Punkten der leuchtenden Scheibe, d. h. an den Ort der Pupille des Beobachters gelangen. Der Beobachter wird also das beobachtete Auge leuchten sehen, so oft in dem beobachteten Auge 166
das Zerstreuungsbild seiner eigenen Pupille theilweise zusammenfällt mit dem Zerstreuungsbilde eines leuchtenden Gegenstandes.

---

[1] F. C. Donders, *Onderzoekingen gedaan in het Physiologisch Laborat. der Utrechtsche Hoogeschool.* Jaar VI. p. 153. — van Trigt, *Nederlandsch Lancet.* 3te Ser. D. II. bl. 419.

Blickt daher der Beobachter dicht am Rande eines Lichtes vorbei, dessen Strahlen er durch einen dunklen Schirm von seinem eigenen Auge abhält, um nicht geblendet zu werden, nach dem Auge eines Anderen, und ist dieses Auge für eine nähere oder viel weitere Entfernung accommodirt, so erscheint ihm die Pupille roth leuchtend. Diese Anordnung des Versuchs ist schematisch in *Fig. 104* dargestellt. *B* ist das Auge des Beobachters, *S* der Schirm, welcher es vor den directen Lichtstrahlen schützt, *A* der Grundrifs einer Lampenflamme, *C* das beobachtete Auge, *B C* die Gesichtslinie des Beobachters, *C d* die des beobachteten Auges, welche beliebig gerichtet sein kann. Der Versuch gelingt auch meist, ohne dafs man die Accommodation des beobachteten Auges berücksichtigt, wenn der Beobachter weit entfernt ist, weil die meisten menschlichen Augen nicht absolut genaue Bilder geben, namentlich wenn der Beobachtete, wie in *Fig. 104*, seitwärts sieht. Grofser Abstand des Lichtes ist vortheilhaft, weil das Gesicht des Beobachteten dann wenig beleuchtet ist, während das Netzhautbild gleich hell bleibt. Am hellsten ist das Leuchten, wenn das einfallende Licht auf die Eintrittsstelle des Sehnerven trifft, weil dessen weifse Substanz das Licht stark reflectirt und wegen ihrer durchscheinenden Beschaffenheit keine hinreichend bestimmte Grenzfläche darbietet, auf der sich das Bild scharf projiciren könnte.



Fig. 104.

Zu bemerken ist hierbei, dafs bei hinreichend starker Beleuchtung auch Licht genug durch die Aderhaut zur Sclerotica dringt, und hier diffus reflectirt wieder zurückkehrt, um wahrgenommen zu werden. Dies Licht verhält sich wie das der Zerstreuungskreise. Daher kann bei starker Beleuchtung auch bei genauer Accommodation des beobachteten Auges für die Pupille des Beobachters ein schwacher Grad von Leuchten stattfinden, namentlich bei schwach pigmentirten Augen, der sich in der angegebenen Weise erklärt.

Noch besser kann das Augenleuchten beobachtet werden, wenn man nicht direct das Licht der Flamme in das Auge fallen läfst, sondern von einem Spiegel reflectirt, und der Beobachter durch diesen Spiegel hindurchsieht. *A* in *Fig. 105* sei das Licht, *S* der Spiegel, welcher aus einer unbelegten Glasplatte bestehen kann. Diese wirft das auffallende Licht so zurück, als käme es von einem Spiegelbilde *α* der Flamme. *C* sei das beobachtete Auge, auf dessen Hintergrunde ein kleines Netzhautbildchen

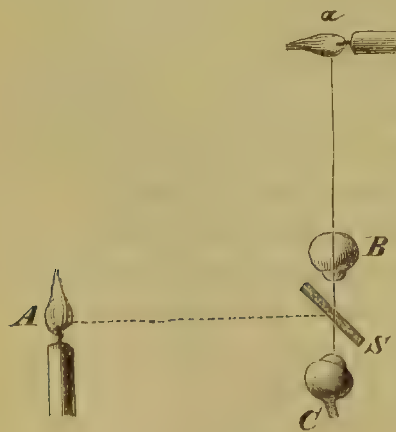


Fig. 105.

des Lichts entworfen wird. Das von der Netzhaut zurückkehrende Licht geht nun, wenn es das Auge verlassen hat, zunächst in der Richtung des Spiegel- 167 bildes α zurück, trifft wieder auf die spiegelnde Platte, wo ein Theil nach dem wirklichen Lichte hin zurückgeworfen wird, während ein anderer durch die Platte geht und seinen Weg nach dem Orte des Spiegelbildes hin fortsetzt. Hier kann es nun von dem Auge des Beobachters *B* aufgefafst werden. Dieser sieht bei der beschriebenen Anordnung das beobachtete Auge leuchten.

Statt der unbelegten Glasplatte kann auch ein belegter Glasspiegel oder Metallspiegel gebraucht werden, mit einer engen Öffnung, durch welche der Beobachter sieht.

Wenn der Beobachter unter diesen Umständen nun auch den Hintergrund des beobachteten Auges erleuchtet sieht, so kann er doch in der Regel nichts im Hintergrunde dieses Auges erkennen, weil er sein Auge für das Bild, welches die Augenmedien vom Hintergrunde des Auges entwerfen, nicht accommodiren kann. Zu dem Ende müssen noch passende Glaslinsen hinzugenommen werden. Die Zusammenstellung eines Beleuchtungsapparates mit solchen Glaslinsen giebt ein Instrument, Augenspiegel genannt, mittels dessen man die Bilder auf der Netzhaut und die Theile der Netzhaut eines fremden Auges deutlich sehen und untersuchen kann.

Brücke hat auf einen eigenthümlichen Nutzen aufmerksam gemacht, den die Schicht der stabförmigen Körperchen bei der Zurückwerfung des Lichts an der Netzhaut haben dürfte. Die Aufsenglieder dieser Körperchen sind kleine Cylinder, 0,030 mm lang, 0,0018 mm dick, von einer stark lichtbrechenden Substanz gebildet, welche palissadenartig neben einander gestellt, aber durch die Fortsätze der Pigmentzellen von einander getrennt, die der Aderhaut zugekehrte letzte Schicht der Netzhaut bilden. Die Axe derer, welche im Hintergrunde des Auges die Netzhaut bedecken, ist gegen die Pupille hin gerichtet, und alles einfallende Licht tritt deshalb in diese Körperchen nahehin ihrer Axe parallel ein. Da nun Licht, welches innerhalb eines dichteren Mittels fortschreitend unter einem sehr grofsen Einfallswinkel auf die Grenze eines weniger lichtbrechenden Mediums trifft, total reflectirt wird, so können wir schliefsen, dafs das Licht, welches in ein stabförmiges Körperchen einmal eingetreten ist, dieses meist nicht wieder verläfst, sondern, wenn es irgendwo auf die cylindrische Begrenzungsfläche des Körperchens treffen sollte, hier gröfstentheils nach innen reflectirt wird. Wenn wir die Brechkraft der stabförmigen Körperchen beispielsweise gleich der des Öls (1,47), die ihrer Zwischensubstanz gleich der des Wassers setzen (1,33), so werden Strahlen, die unter einem Winkel kleiner als 25^0 gegen ihre Fläche fallen, total reflectirt, während die von der Pupille etwa nur unter einem Winkel von 8^0 auffallen. Ist das Licht endlich an dem äufseren Ende des Körperchens angekommen, und wird hier ein Theil von der Aderhaut diffus zurückgeworfen, so wird dieser wieder hauptsächlich durch dasselbe Körperchen zurückkehren müssen. Was von dem Lichte dann unter einem gröfseren Winkel gegen die Axe des Körperchens verläuft, wird allerdings theilweise das Körperchen verlassen können, und dann der Absorption durch die Fortsätze der Pigmentzellen verfallen. Was in den Körperchen bleibt, wird aber nur nach oft wiederholten schwächenden Reflexionen an

den Grenzen der nächsten Körperchen bis in den Glaskörper dringen können. Solches Licht dagegen, welches nahe parallel der Axe der Körperchen zurückgeht, wird nur eine oder wenige totale Reflexionen erleiden, daher wenig geschwächt sein, wenn es das Körperchen verläſst, dann aber auch die Richtung nach der Pupille haben und durch diese austreten. Diese Function der Körperchen scheint namentlich bei denjenigen Thieren, welche statt der Schicht schwarzer Pigmentzellen auf der Aderhaut eine stark reflectirende Fläche (Tapetum) haben, von
168 Wichtigkeit zu sein. Einmal wird dadurch bewirkt, daſs das Licht die empfindenden Netzhautelemente, welche es beim Einfallen getroffen hatte, bei seiner Rückkehr noch einmal trifft und erregt. Zweitens kann es rückkehrend nur dieselben oder höchstens theilweise die nächsten Netzhautelemente treffen, und sich nur zu einem kleinen Theile im Auge diffus zerstreuen, was die Genauigkeit des Sehens erheblich beeinträchtigen würde. Daſs solches diffus zerstreutes Licht bei hinreichend hellen Netzhautbildern im Gesichtsfelde merkbar werden kann, zeigt die im vorigen Paragraphen beschriebene Beobachtungsweise der Aderfigur mittels eines unter dem Auge hin und her bewegten Lichts.

Ich lasse nun hier eine Reihe allgemeiner Sätze zur Begründung der mathematischen Theorie des Augenleuchtens und der Augenspiegel folgen, durch deren Aufstellung die Betrachtung der einzelnen Fälle später auſserordentlich vereinfacht wird.

Satz I.

Wenn zwei Lichtstrahlen in entgegengesetzter Richtung durch beliebig viele einfach brechende Mittel gehen, und in einem dieser Medien in eine gerade Linie zusammenfallen, so fallen sie in allen zusammen.

Es sei AB *Fig. 106* der Theil der beiden Strahlen, von denen wir wissen, daſs er beiden gemeinschaftlich angehöre. Der erste Strahl sei von E längs der Linie EB gekommen, in B gebrochen und nach A gegangen. Der zweite Strahl kommt von A längs der Linie AB nach B, wird hier gebrochen, und gehe nach $E_{,}$. Zunächst ist zu beweisen, daſs $E_{,}B$ mit EB zusammenfällt. DBC sei das Einfallsloth, m das Brechungsverhältniſs des Mittels, in welchem E und $E_{,}$, der Winkel EBD gleich α und der Winkel $E_{,}BD = \alpha_{,}$ liegen; n dagegen das Brechungsverhältniſs des Mittels, in welchem A und der Winkel $ABC = \beta$ liegt. Für den ersten Strahl muſs nach dem Brechungsgesetz AB in der durch DB und EB gelegten Ebene liegen, und ferner sein

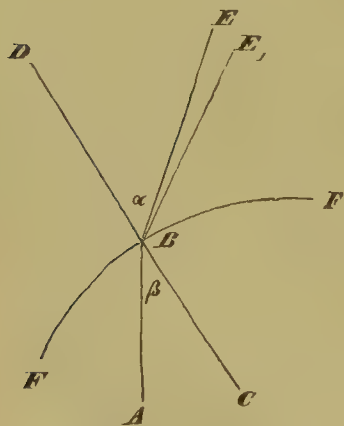


Fig. 106.

$$m.\sin\,\alpha = n.\sin\,\beta.$$

Ebenso muſs für den zweiten Strahl $E_{,}B$ in der durch DB und AB gelegten Ebene liegen, also in derselben, in welcher auch EB liegt, und es muſs sein

$$m.\sin\,\alpha_{,} = n.\sin\,\alpha.$$

Daraus folgt

$$\sin \alpha = \sin \alpha_{,} \text{ oder}$$
$$\alpha = \alpha_{,},$$

da beide Winkel nur im ersten Quadranten liegen können.

Daraus folgt, dafs $E_{,} B$ mit $E B$ zusammenfällt. Somit congruiren die beiden Strahlen auch in dem Mittel, in welchem E liegt, soweit dieses reicht.

Bei der nächsten brechenden Fläche läfst sich ihre Congruenz dann wieder für das dritte Medium folgern u. s. w.

Zusätze. 1) Auch sieht man leicht ein, dafs bei Reflexionen an spiegelnden Flächen die Congruenz nicht gestört wird.

2) Für das Auge folgt, dafs ein Strahl, der auf seinem Wege von der Netzhaut zur Linse mit einem anderen zusammenfällt, der von einem leuchtenden Punkte in das Auge und auf die Netzhaut fällt, auch aufserhalb des Auges mit diesem congruirt.

3) Stellt man den Satz so allgemein hin, wie es hier geschehen ist, so mufs man daran denken, dafs bei gewissen Polarisationsrichtungen und Einfallswinkeln die Strahlen bei einer Brechung oder Reflexion ganz verlöschen könnten. Bei unseren Anwendungen auf die Beleuchtung des Auges treten solche Umstände nicht ein. Das Licht fällt auf 169
die brechenden Flächen des Auges fast senkrecht ein, wobei seine etwa vorhandene Polarisation so gut wie keinen Einflufs auf die Stärke des gebrochenen und reflectirten Antheils hat. Uebrigens können wir die Schwächung der Strahlen durch Reflexion und Absorption an und in den Augenmedien vernachlässigen. Nur wenn man schräg gestellte Glasplatten als Reflector benutzt, muss man an die Schwächung des Lichts durch Reflexion denken.

Für die Intensität des hin und zurück gehenden Lichtstrahls läfst sich übrigens ebenfalls eine ganz entsprechende Regel von sehr ausgehnter Gültigkeit aufstellen, die ausgesprochen zu haben hier genügen mag, da wir bei gegenwärtiger Anwendung das Princip in seiner allgemeineren Form nicht brauchen. Den Beweis kann sich übrigens Jeder, der die Gesetze der Optik kennt, leicht selbst führen. Mann kann diese allgemeinere Regel folgendermafsen aussprechen.

Ein Lichtstrahl gelange von dem Punkte A nach beliebig vielen Brechungen, Reflexionen u. s. w. nach dem Punkte B. In A lege man durch seine Richtung zwei beliebige, auf einander senkrechte Ebenen a_1 und a_2, nach welchen seine Schwingungen zerlegt gedacht werden. Zwei eben solche Ebenen b_1 und b_2 werden durch den Strahl in B gelegt. Alsdann läfst sich folgendes beweisen: Wenn die Quantität J nach der Ebene a_1 polarisirten Lichts von A in der Richtung des besprochenen Strahls ausgeht, und davon die Quantität K nach der Ebene b_1 polarisirten Lichts in B ankommt, so wird auf demselben Wege rückwärts, wenn die Quantität J nach b_1 polarisirten Lichts von B ausgeht, dieselbe Quantität K nach a_1 polarisirten Lichts in A ankommen.

Soviel ich sehe, kann hierbei das Licht auf seinem Wege der einfachen und doppelten Brechung, Reflexion, Absorption, gewöhnlichen Dispersion und Diffraction unterworfen sein, ohne dafs das Gesetz seine Anwendbarkeit verliert, nur darf keine Änderung seiner Brechbarkeit stattfinden, und es darf nicht durch Körper gehen, in denen der Magnetismus nach Faraday's Entdeckung auf die Lage der Polarisationsebene einwirkt.

Satz II.

Wenn die Pupille des beobachteten Auges leuchtend erscheinen soll, so mufs sich auf seiner Netzhaut das Bild der Lichtquelle ganz oder theilweise mit dem Bilde der Pupille des Beobachters decken.

Wenn von irgend einer Stelle der Netzhaut des beobachteten Auges Licht in das Auge des Beobachters dringen soll, so mufs diese Stelle erstens von der Lichtquelle erleuchtet sein, also dem Bilde der Lichtquelle angehören. Zweitens, wenn wir die Fiction machen, dafs Licht von der Pupille des Beobachters ausgeht, so müfste nach dem vorigen Satze ebenso gut Licht von der Pupille des Beobachters zur betreffenden Stelle der Netzhaut des beobachteten Auges wie umgekehrt gehen können. Die Netzhautstelle mufs also gleichzeitig dem Netzhautbilde der Pupille des Beobachters angehören, mag dieses Bild nun scharf oder ein Zerstreuungsbild sein.

Zusätze. 1) Dieser Satz gilt nicht nur für den Fall, wo die Strahlen auf geradem Wege von der Lichtquelle zum beobachteten Auge und von diesem zum Auge des Beobachters gehen, sondern auch wenn beliebig viele Linsen und Spiegel dazwischen geschoben sind. Dadurch erhält man ein bequemes Mittel, sich experimentell die Wirkung jedes Augenspiegels am eigenen Auge deutlich zu machen. Man stelle das zur Erleuchtung dienende Licht auf und bringe das Instrument vor sein Auge in dieselbe Lage, wie es sonst vor dem Auge des Beobachters steht; der Theil des Gesichtsfeldes, welcher alsdann hell erscheint, entspricht dem Theile der Netzhaut, welcher beleuchtet ist. Man kann erkennen, ob das helle Feld grofs oder klein, ob es gleichmäfsig erleuchtet ist, oder ob sich dunkle Stellen darin befinden, und wie dunkel diese sind. Alsdann nehme man die Flamme von der Stelle weg, wo sie zur Erleuchtung des Auges dient, und bringe sie hinter das Instrument, da wo sich sonst das Auge des Beobachters befindet,
170 so dafs das Licht durch die Öffnung scheint, welche dem Beobachter zum Durchsehen dient. Was jetzt im Gesichtsfelde erleuchtet ist, ist der Kreis, den der Beobachter von der Netzhaut übersehen kann.

Ich empfehle diesen Weg, um bei den verschiedenen Combinationen ebener und gekrümmter Spiegel, convexer und concaver Linsen in den Augenspiegeln sich die Wirkungen klar zu machen, ohne dafs man sich auf verwickelte geometrische Constructionen einzulassen braucht, die den Ungeübten leicht mehr verwirren als aufklären.

2) Was die Wirkung der in diesem Paragraphen beschriebenen Beleuchtungsweisen betrifft, so ordnet sich deren Wirkung leicht unter die hier aufgestellte Regel. Man erinnere sich daran, dafs, wie die tägliche Erfahrung lehrt und eine einfache Construction des Ganges der Lichtstrahlen bestätigt, das Zerstreuungsbild eines fernen Gegenstandes nicht das scharfe Bild eines deutlich gesehenen näheren Gegenstandes bedecken kann, wohl aber das Zerstreuungsbild eines näheren Gegenstandes das scharfe Bild eines ferneren. Bei dem Versuche mit dem durchbohrten Spiegel bedeckt das Zerstreuungsbild der Öffnung, durch welche der Beobachter blickt und welche sich möglichst nahe vor dem beobachtenden Auge befinden mufs, das entferntere, vielleicht deutlich gesehene Bild der Lichtflamme. Wenn man keinen Spiegel anwendet, sondern der Beobachter dicht an der Flamme vorbei nach dem beobachteten Auge sieht, erscheinen diesem Auge die Flamme und das Auge des Beobachters nahe neben einander, und sobald das beobachtete Auge nicht scharf für sie accommodirt ist, fliefsen ihre Zerstreuungskreise in einander. Bei der Beleuchtung mit einer unbelegten Glasplatte können beide Bilder scharf sein, sowohl das des Lichts, wie das der Pupille des Beobachters. Ersteres wird von der Platte gespiegelt, letzteres durch die Platte gesehen, so dafs beide auf einander fallen. Der Beobachtete kann deshalb selbst am leichtesten die Glasplatte so stellen, dafs dem Beobachter sein Auge leuchtend erscheint. Er mufs nur darauf achten, dafs ihm das Auge des Beobachters von dem Spiegelbilde der Flamme gedeckt erscheine.

Ein solches Reprocitätsgesetz, wie wir es eben dafür aufgestellt haben, dafs überhaupt Licht von einem leuchtenden zu einem zu beleuchtenden Punkte hin und her gehe; läfst sich auch für die Helligkit des hin und zurück gelangenden Lichts aufstellen. Wir erinnern in dieser Beziehung zunächst an folgendes

Allgemeines Gesetz der Beleuchtung.

Wenn sich in einem durchsichtigen Medium zwei verschwindend kleine Flächenelemente von der Gröfse a und b in der gegenseitigen Entfernung r befinden, ihre Normalen mit der sie verbindenden geraden Linie beziehlich die Winkel α und β bilden, und a mit der Helligkeit H Licht aussendet, so ist die Lichtmenge L, welche von a auf b fällt,

$$L = \frac{H \, . \, ab \, . \cos \alpha \, . \cos \beta}{r^2} \quad \dots\dots\dots\dots \quad 1).$$

Ebenso grofs ist auch die Lichtmenge, welche von b auf a fallen würde, wenn b mit der Helligkeit H Licht aussendete.

Satz III.

In einem centrirten Systeme von brechenden Kugelflächen sei n_1 das Brechungsverhältnifs des ersten, n_2 das des letzten brechenden Mittels. In dem ersten befinde sich senkrecht gegen die Axe des Systems gerichtet und der Axe nahe ein Flächenelement α, in dem letzten ein eben solches β. Wenn α die Helligkeit $n_1^2 . H$ hat, und β die Helligkeit $n_2^2 . H$, so fällt ebenso viel Licht von α auf β, wie von β auf α.

Um den Beweis nicht complicirter zu machen, als unsere beabsichtigten Anwendungen verlangen, vernachlässigen wir dabei die Schwächungen, welche die Strahlen an den brechenden Flächen durch Reflexion erleiden, und nehmen an, dafs die Einfallswinkel der Strahlen an den brechenden Flächen immer klein genug sind, um ihre Cosinus gleich 1 setzen zu können, obgleich der Satz sich auch in 171
allgemeinerer Form beweisen läfst.

1) Wenn β nicht am Orte des Bildes von α liegt.

Es sei AC die optische Axe des brechenden Systems, F sein erster, G sein zweiter Hauptpunkt, α das erste Flächenelement, welches wir, da es verschwindend klein sein soll, nur durch einen Punkt in der Zeichnung dargestellt haben, γ sein Bild, $f_1 f_2$ der Durchschnitt des einfallenden Strahlenbündels in der ersten Hauptebene, $g_1 g_2$ derselbe in der zweiten. Die Grundfläche des Strahlenbündels in der ersten Hauptebene ist congruent derselben in der zweiten; ihre gemeinsame Gröfse sei Φ. Das zweite Flächenelement β liege in der Ebene, welche in B senkrecht gegen die optische Axe steht, und $b_1 b_2$ sei der Durchschnitt des Strahlenbündels in dieser Ebene. Die Fufspunkte der von α und γ auf die optische Axe gefällten Lothe seien A und C.

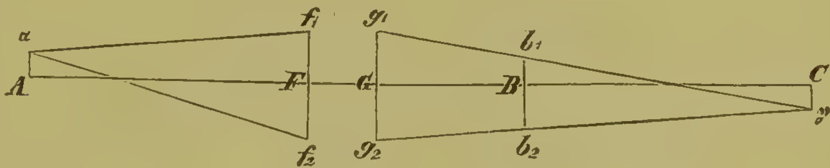


Fig. 107.

Die Lichtmenge, welche von α auf die Grundfläche des Strahlenkegels $f_1 f_2$ fällt, ist nach Gleichung 1) gleich

$$\frac{n_1^2 . H \, . \, \alpha \, . \, \Phi}{AF^2},$$

wenn $n_1^2 . H$ die Helligkeit von α ist. Dieselbe Lichtmenge fällt auch auf die weiteren Querschnitte des Strahlenkegels in $g_1 g_2$ und $b_1 b_2$. Die Lichtmenge nun, welche in der letzteren Ebene auf das Flächenelement β fällt, verhält sich zu der ganzen Lichtmenge, welche die Fläche $b_1 b_2$ trifft, wie die Oberfläche von β zu dem Querschnitt des Strahlenkegels in $b_1 b_2$, den wir mit Ξ bezeichnen wollen. Es ist also die ganze Lichtmenge X, welche von α auf β fällt, gleich

$$X = \frac{\Phi}{\Xi} \cdot \frac{n_1^2 . H . \alpha . \beta}{AF^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2).$$

Nun ist aber ferner

$$\frac{\Phi}{\Xi} = \frac{(g_1 g_2)^2}{(b_1 b_2)^2} = \frac{CG^2}{BC^2}.$$

Dieser Werth in die Gleichung 2) gesetzt, giebt

$$X = n_1^2 . H . \alpha . \beta \frac{CG^2}{BC^2 \cdot AF^2}.$$

Da nun nach § 9 Gleichung 8a)

$$\frac{GC}{AF} = \frac{F_2}{AF - F_1},$$

wo F_1 und F_2 die beiden Brennweiten des Systems sind, so ist

$$X = H . \alpha . \beta \cdot \frac{n_1^2 . F_2^2}{[AF \cdot F_2 + BG \cdot F_1 - AF \cdot BG]^2} \quad \ldots \quad 2a).$$

Ebenso bekommt man nun für die Lichtmenge Y, welche von β, wenn es mit der Helligkeit $n_2^2 . H$ leuchtet, auf α fällt, den Ausdruck

$$Y = H . \alpha . \beta \cdot \frac{n_2^2 . F_1^2}{[AF \cdot F_2 + BG \cdot F_1 - AF \cdot BG]^2} \quad \ldots \quad 2b).$$

172 Da auf beiden Seiten Alles symmetrisch ist, braucht man, um dies zu erhalten, in dem Ausdrucke für X nur zu vertauschen

AF mit BG
F_1 mit F_2
α mit β
$n_1^2 . H$ mit $n_2^2 . H$

Da nun nach § 9 Gleichung 9c)

$$n_1 . F_2 = n_2 . F_1$$

so folgt aus 2a) und 2b)

$$X = Y,$$

was zu beweisen war.

2) W e n n β a n d e n O r t d e s B i l d e s v o n α f ä l l t.

Wir nehmen zuerst an, dafs β in Gröfse und Lage dem Bilde von α genau entspreche, dann entspricht auch α genau dem Bilde von β. Alles Licht also was von α aus durch die brechenden Flächen dringt, fällt auf β, umgekehrt, alles was von β durch die brechenden Flächen dringt, fällt auf α.

Wir behalten die Bezeichnungen der Figur 107 bei, nur dafs wir uns das Element β jetzt in γ liegend denken.

Es ist dies von α bei der Helligkeit $n_1^2 . H$ auf die brechenden Flächen und lso auch auf β fallende Lichtmenge X wiederum

$$X = n_1^2 . H . \frac{\alpha . \Phi}{A F^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3a),$$

nd die von β bei der Helligkeit $n_2^2 . H$ auf die brechenden Flächen und also auch uf α fallende Menge Y

$$Y = n_2^2 . H . \frac{\beta . \Phi}{G C^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3b),$$

Da nun β das Bild von α sein soll, so ist nach § 9 Gleichung 8b), indem ıan berücksichtigt, dafs α und β ähnliche Flächen, also dem Quadrate ihrer entprechenden Lineardimensionen proportional sind,

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{F_2^2}{(GC - F_2)^2},$$

nd da ferner nach § 9 Gleichung 8a)

$$G C - F_2 = \frac{G C \cdot F_1}{A F},$$

o folgt

$$\frac{\alpha . F_1^2}{A F^2} = \frac{\beta . F_2^2}{G C^2},$$

nd da $F_1 : F_2 = n_1 : n_2$, so folgt

$$\frac{\alpha . n_1^2}{A F^2} = \frac{\beta . n_2^2}{G C^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3c).$$

us 3a), 3b) und 3c) zusammen folgt endlich

$$X = Y,$$

as zu beweisen war.

Sollte eines der beiden Elemente, z. B. α, gröfser sein als das Bild von β, o würden die Theile von α, welche nicht zum Bilde von β gehören, weder Licht uf β werfen, noch von β empfangen können, es würde dadurch also weder X och Y geändert werden und unser Satz richtig bleiben.

Zusätze. 1) Die ganze Beweisführung läfst sich ebenso gut auf centrirte Systeme 173
rechender und spiegelnder Kugelflächen anwenden.

2) Die leuchtende und beleuchtete Fläche brauchen auch nicht verschwindend klein ı sein, wenn sie nur klein genug sind, dafs die Cosinus der Einfallswinkel der Strahlen n den brechenden Flächen sich nicht merklich von 1 unterscheiden. Denn da für jedes aar verschwindend kleiner Flächenelemente der beiden Flächen der Satz gilt, so gilt er uch für die ganzen Flächen.

Wenn wir den eben bewiesenen Satz auf die Verhältnifse des Augenleuchtens nwenden und das eine Flächenelement in die Netzhaut des beobachteten Auges erlegen, statt des anderen die Pupille des Beobachters setzen, übrigens den Unerschied der Brechung zwischen wässriger und gläserner Feuchtigkeit vernachıfsigen und zwischen den beiden Augen ein beliebiges System centrirter brechender der spiegelnder kugeliger Flächen angebracht denken, so können wir den Satz lgendermafsen aussprechen:

Satz IIIa.

Die Menge Licht, welche von einem Flächenelemente der Netzhaut des beobachteten Auges in das Auge des Beobachters fällt, ist gleich der Helligkeit, mit der das Netzhautelement von der Lichtquelle erleuchtet wird, multiplicirt mit der Menge Licht, welche von der Pupille des Beobachters, wenn sie die Helligkeit = 1 hätte, auf das Netzhautelement fallen würde.

H sei die Helligkeit, mit der das Netzhautelement von der Lichtquelle erleuchtet wird, und k die Lichtmenge, welche von der Pupille des Beobachters, wenn diese mit der Helligkeit 1 leuchtet, auf das Netzhautelement fällt, so würde nach dem eben bewiesenen Satze k auch gleich der Lichtmenge sein, welche von dem Netzhautelemente, wenn dieses die Helligkeit 1 hätte, in die Pupille des Beobachters gelangte. Da dieses nun aber die Helligkeit H hat, so ist die Lichtmenge, welche von diesem Elemente wirklich in die Pupille des Beobachters gelangt, $H \cdot k$, wie es unser Satz ausspricht.

Es ist dieser Satz gleichsam die weitere Ausführung des Satzes II, indem hier die quantitativen Bestimmungen gegeben werden, welche dort fehlten. Zunächst ist er nur erwiesen für Augenspiegel, an deren brechenden und spiegelnden Flächen die Lichtstrahlen nahe senkrecht einfallen und keinen erheblichen Verlust erleiden. Es ist aber leicht einzusehen, dafs er auch für die Beleuchtung des Auges mit schiefgestellten spiegelnden Glasplatten gilt, da unpolarisirtes Licht, vom beobachtenden zum beobachteten Auge durch eine solche Platte gehend, ebenso stark geschwächt wird, als wenn es den umgekehrten Weg verfolgte.

Satz IV.

Wenn ein Beobachter durch ein centrirtes System brechender und spiegelnder Kugelflächen ein scharfes Bild eines leuchtenden Gegenstandes erblickt und wir den Verlust von Licht an den brechenden und spiegelnden Flächen vernachlässigen können, so erscheint jede Stelle des Bildes dem Beobachter ebenso hell, wie ihm die entsprechende Stelle des Gegenstandes ohne optische Instrumente gesehen erscheinen würde, so oft die ganze Pupille des Beobachters von den Strahlen getroffen wird, die von einem einzelnen Punkte jener Stelle ausgehen. Ist diese letztere Bedingung nicht erfüllt, so verhält sich die Helligkeit des optischen Bildes zur Helligkeit des frei gesehenen Gegenstandes, wie der von Strahlen jenes leuchtenden Punktes getroffene Flächenraum der Pupille des Beobachters zur ganzen Pupille.

Wenn das Auge direct oder durch ein centrirtes optisches System ein deutliches Bild eines Gegenstandes sieht, so können wir das Auge mit dem vorgesetzten
174 optischen Systeme zusammen wiederum als ein optisches System betrachten, welches ein Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut entwirft. Es sei a ein Flächenelement des Gegenstandes, b sein Bild auf der Netzhaut. So viel Licht von a nach b geht, würde auch nach Satz III dieses Paragraphen von b nach a gehen, wenn dem Netzhautelemente b die Helligkeit $\frac{(n_2)^2}{(n_1)^2} \cdot H$ ertheilt würde. In diesem Ausdruck

st H die Helligkeit des Elements a, n_1 das Brechungsverhältniſs des Mediums, n dem sich a befindet, n_2 das des Glaskörpers. Es läſst sich aber leicht beechnen, wie viel Licht von b nach a unter diesen Umständen gehen würde. Ist q der Querschnitt des von einem Punkte von b nach einem Punkte von a geenden Strahlenbündels in der Pupille, so ist die von b nach a gehende Lichtmenge M gleich der von b nach q gehenden, und diese ist

$$M = \frac{n_2^{\;2}}{n_1^{\;2}} \cdot H \cdot \frac{q\,b}{R^2},$$

vorin R den Abstand der Pupille von der Netzhaut bedeutet. Streng genommen würde hier unter q der Querschnitt des Strahlenbündels in dem von der Linse ntworfenen Bilde der Pupille, und unter R die Entfernung dieses Bildes von der Netzhaut zu verstehen sein. In diesem Ausdrucke für die Lichtmenge, welche von lem leuchtenden Flächenelemente H in das Auge fällt, sind zwei Gröſsen, welche von der Beschaffenheit des dem Auge vorgesetzten optischen Systems abhängen, nämlich q der Querschnitt des Strahlenbündels in der Pupille und b die Gröſse les Bildes auf der Netzhaut.

Die Helligkeit dieses Bildchens hängt nun aber nicht nur von der einfallenden Lichtmenge ab, sondern auch von der Gröſse der Fläche b, über welche die Lichtmenge ausgebreitet wird, und ist der letzteren umgekehrt proportional. Setzen wir ıls Einheit der Beleuchtungsstärke die Lichtmenge, welche die Einheit der Fläche rifft, so ist die Beleuchtungsstärke J des Netzhautelements b

$$J = \frac{M}{b} = \frac{n_2^{\;2}}{n_1^{\;2}} \cdot H \cdot \frac{q}{R^2},$$

in welchem Ausdrucke nur noch q von der Beschaffenheit des optischen Systems ıbhängig ist. Sieht das Auge frei den Gegenstand an, so füllt das Strahlenbündel die ganze Pupille, deren Querschnitt Q sei, und die Beleuchtungsstärke wird

$$J = \frac{(n_1)^2}{(n_2)^2} \cdot H \cdot \frac{Q}{R}.$$

Gröſser als Q kann q niemals werden; dieser letztere Ausdruck ist also das Maximum der Helligkeit; er stellt die natürliche Helligkeit des Bildes dar. Die Helligkeit ausgedehnter Flächen kann durch optische Instrumente nie gröſser, nur kleiner werden, wenn q kleiner als Q, und verhält sich dann zur natürlichen Helligkeit wie q zu Q.

Zusätze. 1) Nur wenn wir verschwindend kleine leuchtende Punkte durch optische Instrumente betrachten, deren Bild auch bei den stärksten Vergröſserungen nur die Ausdehnung der kleinsten Zerstreuungskreise auf der Netzhaut bedeckt, also immer dieselbe Flächenausdehnung behält, können optische Instrumente die Helligkeit vergröſsern. Dies geschieht z. B. für die Fixsterne, und deshalb können auch Fixsterne durch stark vergröſsernde Fernröhre mit groſsen Aperturen bei Tage sichtbar gemacht werden. Die scheinbare Helligkeit des Fixsterns steigt proportional der Lichtmenge, welche das Instrument in seinen Focus vereinigt, während die Helligkeit des Himmelsgewölbes im Fernrohre nicht vermehrt wird

2) Auch wenn Zerstreuungsbilder einer leuchtenden Fläche von gleichmäſsiger Helligkeit im Auge entworfen werden, kann die Helligkeit des Netzhautbildes nur gleich, nie gröſser werden als die Helligkeit bei freier Betrachtung der Fläche. Der Beweis läſst 175
sich ganz so führen wie für scharf gesehene Bilder, da Satz III für scharfe Bilder und

für Zerstreuungsbilder gleichmäfsig gilt. Auch hier ist die Helligkeit proportional dem Querschnitt des Strahlenbündels in der Pupille, welches von dem entsprechenden Punkte der Netzhaut bis nach der leuchtenden Fläche gelangen kann.

Ich erlaube mir zu bemerken, dafs gegen die hier entwickelten Grundsätze der Helligkeit dioptrischer und katoptrischer Apparate noch oft gesündigt wird. Man findet noch oft die irrige Meinung ausgesprochen, dafs, wenn man Licht durch Sammellinsen oder Hohlspiegel in das Auge, u. s. w. fallen läfst, man dadurch nicht blos die scheinbare Gröfse der leuchtenden Fläche, sondern auch ihre scheinbare Helligkeit vermehren könne. Der Vermehrung des in das Auge fallenden Lichts, welche durch solche Mittel erreicht werden kann, entspricht stets eine entsprechende Vergröfserung des Bildes, so dafs das Bild eben nur gröfser, nicht heller wird. Durch kein optisches Instrument kann man die Helligkeit einer leuchtenden Fläche von erkennbaren Dimensionen für das Auge gröfser machen, als sie dem blofsen Auge erscheint. Ebenso wenig kann eine beleuchtete Fläche jemals eine gröfsere Helligkeit bekommen, als die leuchtende hat.

Satz V.

Allgemeines Verfahren, die Helligkeit zu bestimmen, mit welcher dem Beobachter durch einen Augenspiegel eine Stelle der Netzhaut des beobachteten Auges erscheint.

a) Wenn der Verlust, den die einzelnen Strahlen an den brechenden und reflectirenden Flächen erleiden, vernachläfsigt werden kann. Es sei x ein Punkt an der betreffenden Stelle der Netzhaut; wir haben zu untersuchen, wie das Strahlenbündel verläuft, welches von x nach der Pupille desselben Auges geht. Nach Satz I und II mufs ein Theil dieses Strahlenbündels zum leuchtenden Körper, ein anderer zur Pupille des Beobachters gehen. Es sei P der Querschnitt der Pupille des beobachteten Auges, p in dieser Pupille der Querschnitt desjenigen Theils des Strahlenbündels, welches zum leuchtenden Körper zurückgelangt, H die Helligkeit, welche der betreffenden Netzhautstelle zukommen würde, wenn das beobachtete Auge, frei nach dem leuchtenden Körper blickend, auf ihm ein Bild dieses Körpers entwürfe. Wir können diese die normale Helligkeit nennen. Sie hängt natürlich wesentlich von der Structur der Netzhaut ab, ferner von der Helligkeit des leuchtenden Körpers und der Weite der Pupille P. Bei Anwendung des Augenspiegels mufs nothwendig die wirkliche Helligkeit der Netzhautstelle kleiner werden, nämlich

$$\frac{p}{P} \cdot H.$$

Weiter ermittele man den Querschnitt q, den der Theil des von x ausgegangenen Strahlenbündels, welcher in die Pupille des Beobachters gelangt, in dieser Pupille hat, deren ganzer Flächeninhalt Q sei, so ergiebt sich schliefslich für die Helligkeit der Netzhautstelle, wie sie dem Beobachter erscheint,

$$\frac{q \cdot p}{Q \cdot P} \cdot H.$$

b) Wenn die Strahlen durch Spiegelung oder Brechung einen merklichen Verlust erleiden. Unter den bisher construirten Formen der Augenspiegel kommt ein solcher nur bei dem von mir angegebenen mit unbelegten spiegelnden Platten vor. Das vom Auge zum leuchtenden Körper gehende Strahlenbündel wird in diesem Falle und allen ähnlichen ebenso viel verlieren als die vom Lichte wirklich zum Auge gehenden Strahlen. Man braucht also auch nur den

Verlust des ersteren zu berechnen. Es möge von einem Strahl, der vom Licht zum beobachteten Auge geht, und dessen Intensität 1 ist, α im Auge ankommen, und von einem eben solchen Strahle, der vom beobachteten Auge ausgeht, β in dem des Beobachters ankommen, dann müssen wir den obigen Ausdruck für die 176
Helligkeit noch mit α und β multipliciren; er wird also

$$\frac{\alpha \cdot \beta \cdot p \cdot q}{P \cdot Q} H.$$

Durch die in den vorstehenden Sätzen vollzogene Umkehr des Problems von der Beleuchtung des Auges haben wir die Untersuchung der Helligkeit der Bilder für jeden Fall auf die Bestimmung des Ganges eines einzigen Strahlenbündels reducirt, während es sonst nöthig war, die Helligkeit einer einzelnen Netzhautstelle aus der Helligkeit aller über einander gelagerten Zerstreuungskreise, welche den einzelnen Punkten der Lichtquelle entsprechen, durch Summation zu bestimmen. Auch glaube ich, daſs die Sache dadurch der Anschauung zugänglicher wird. Den Gang der Strahlen von einem Netzhautpunkte durch die verhältniſsmäſsig einfachen optischen Systeme der Augenspiegel, von denen eines zur Beleuchtung, eines zur Beobachtung dient, einzeln genommen kann man sich leicht veranschaulichen, während die ganze Übersicht des Ganges der Lichtstrahlen von der Lichtquelle bis zum Auge des Beobachters meist deshalb schwierig wird, weil auf der Netzhaut eine unendliche Zahl in einander greifender Zerstreuungskreise der Punkte der Lichtquelle und der Pupille des Beobachters entstehen.

Satz VI.

Die Mittel, ein deutliches Bild des Augenhintergrundes zu erhalten.

A Fig. 108 sei das beobachtete Auge, *a* ein Punkt seiner Netzhaut, dessen Bild von den Augenmedien in *b* entworfen wird, in der Entfernung, wo das beobachtete Auge

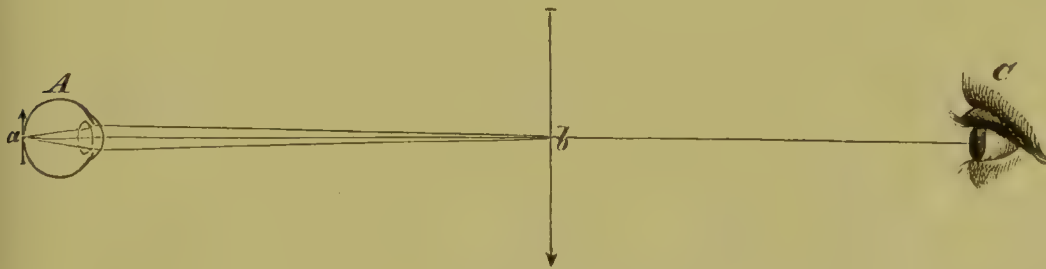


Fig. 108.

deutlich sieht. Die beiden Pfeile, welche bei *a* und *b* gezeichnet sind, entsprechen der Gröſse der zusammengehörigen Bilder. Das Bild der Netzhautstelle ist vergröſsert und umgekehrt. Ein Beobachter, welcher ohne weitere Hülfsmittel dies Bild der Netzhaut in *b* sehen wollte, müſste also noch weiter entfernt vom Auge *A*, etwa in *C* sich befinden, so daſs die Entfernung *Cb* wieder gleich der Sehweite des Beobachters würde. Hierbei würde aber das von der Pupille des beobachteten Auges begrenzte Gesichtsfeld des Beobachters so klein sein, daſs er schwerlich etwas erkennen könnte.

Es sind bisher zwei Hauptmethoden angewendet worden, um die Lage des Bildes *b* dem Beobachter bequemer zu machen. Bei der einen wird ein virtuelles aufrechtes Bild der Netzhaut, bei der anderen ein reelles umgekehrtes entworfen.

A. Darstellung der Netzhaut im virtuellen aufrechten Bilde.

Man wendet dazu eine Concavlinse B in *Fig. 109* an, deren Brennweite Bp kleiner ist als die Entfernung des Punktes b von ihr. Eine solche macht die von A nach b hin convergirenden Lichtstrahlen wieder divergent, so daſs sie von einem scheinbar bei d im Rücken des beobachteten Auges gelegenen Punkte zu kommen scheinen. Die Pfeile bezeichnen wieder Lage und Gröſse der Netzhautstelle und ihrer Bilder.

177

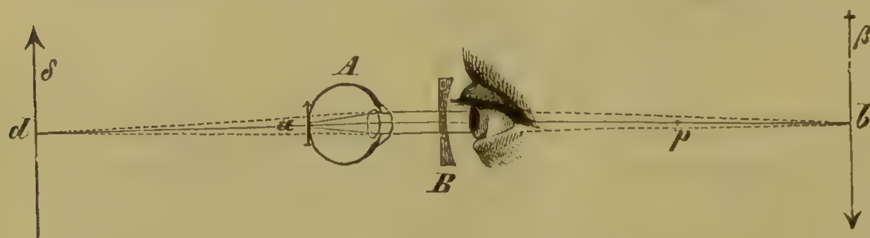


Fig. 109.

Nennen wir p die (negative) Brennweite der Concavlinse, α die Entfernung Bb, γ die Entfernung dB, so ist nach § 10 Gleichung 14)

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{p};$$

γ muſs gleich der Sehweite des Beobachters sein, wenn er das bei d entworfene Bild der Netzhaut deutlich sehen soll; α hängt von der Accommodationsweite Al des beobachteten Auges und der Entfernung A von B ab. Hat man den Werth beider Gröſsen festgestellt, so kann man aus der gegebenen Gleichung den Werth von p berechnen, welcher gewählt werden muſs, um deutliche Bilder zu geben.

Wären beide Augen für unendliche Ferne accommodirt, also $\alpha = \gamma = \infty$, so würde auch $p = \infty$ werden müssen, d. h. es wäre gar keine Linse nothwendig.

Auch für die seitlich gelegenen Theile der Netzhaut ist gewöhnlich keine Linse nothwendig, weil diese vor den dorthin fallenden Vereinigungspunkten der Lichtstrahlen weit entfernter Lichtpunkte zu liegen scheinen, und die Augenmedien von ihnen daher selbst schon ein dem Beobachter passendes Bild entwerfen.

Das Netzhautbild in d ist bei dieser Beobachtungsweise aufrecht.

Was die Vergröſserung betrifft, so denke man in b einen leuchtenden Gegenstand, dessen Bild auf der Netzhaut in a entworfen werden würde. Die rückkehrenden Strahlen bilden ein Bild des Netzhautbildes, welches nach den vorher auseinandergesetzten Grundsätzen des Augenleuchtens dem leuchtenden Gegenstande in b congruent ist. Nennt man β die Gröſse des leuchtenden Gegenstandes und des ihm gleichen Bildes in b, δ die des vom Beobachter gesehenen Bildes in d, so ist

$$\frac{\beta}{\delta} = \frac{\alpha}{\gamma}.$$

Als Maſs für die scheinbare Gröſse des gesehenen Bildes können wir seine Gröſse dividirt durch seine Entfernung von dem sehenden Auge gebrauchen. Befindet sich das Auge des Beobachters dicht hinter dem Concavglase, so wäre die scheinbare Gröſse des Bildes

$$\frac{\delta}{\gamma} = \frac{\beta}{\alpha}.$$

Nennen wir die Entfernung AB nun q, so ist die scheinbare Gröfse des Objects b für das Auge A

$$\frac{\beta}{\alpha + q},$$

also etwas kleiner als die des Bildes δ für den Beobachter. Ist die Sehweite des Auges A sehr viel gröfser als q, so kann man q gegen α vernachlässigen, und findet auch für das beobachtete Auge die scheinbare Gröfse des leuchtenden Gegenstandes gleich $\frac{\beta}{\alpha}$.

Die Netzhautbilder des beobachteten Auges erscheinen also bei dieser Anordnung dem Beobachter unter gleichem oder etwas gröfserem Gesichtswinkel als die entsprechenden Gegenstände dem beobachteten Auge.

Daraus ergiebt sich nun leicht die Vergröfserung der Netzhauttheile des beobachteten Auges. Ist x die Gröfse des auf der Netzhaut in a entworfenen Bildes von β, und y der Abstand der Netzhaut vom hinteren Knotenpunkte des Auges, so verhält sich 178

$$\frac{x}{\beta} = \frac{y}{\alpha + q}$$

$$\frac{\beta}{\delta} = \frac{\alpha}{\gamma}.$$ Beides multiplicirt giebt:

$$\frac{x}{\delta} = \frac{y \cdot \alpha}{\gamma \cdot (\alpha + q)}.$$

y ist in LISTING's schematischem Auge gleich 15,0072 mm (oder 6,694 Par. Lin.), γ ist hier nach der bei der Berechnung von Vergröfserungen angenommenen Norm der Sehweite gleich 8 Zoll zu setzen. Daraus ergiebt sich die Vergröfserung

$$\frac{\delta}{x} = 14{,}34 \frac{\alpha + q}{\alpha}.$$

Da q gegen α gewöhnlich sehr klein ist, können wir die Vergröfserung gleich $14\frac{1}{3}$ mal annehmen.

Das Gesichtsfeld, welches man übersieht, ist bei dieser Methode durch den undeutlich gesehenen Rand der Pupille des beobachteten Auges nicht scharf begrenzt. Um eine bestimmte Grenze passend zu wählen, kann man die nach dem Rande der Pupille des beobachteten Auges gezogenen Visirlinien des Beobachters nehmen, deren Kreuzungspunkt[1] im Mittelpunkt der Pupille des Beobachters liegt. Wenn man diese Visirlinien wie Lichtstrahlen behandelt, die von dem Mittelpunkte der Pupille des Beobachters ausgehen, findet man, dafs das Gesichtsfeld des Beobachters auf der Netzhaut des beobachteten Auges dem Zerstreuungsbilde entspricht, in welchem der Mittelpunkt der Pupille des Beobachters dort erscheint. Liegt dieser Mittelpunkt oder vielmehr sein durch die Concavlinse gesehenes Bild im ersten Brennpunkte des beobachteten Auges, so ist der Zerstreuungskreis, wie im vorigen Paragraphen bei den entoptischen Erscheinungen nachgewiesen ist, ebenso grofs wie die Pupille des beobachteten Auges. Meist wird aber das Auge des Beobachters sich dem beobachteten Auge nicht so weit nähern können, und dann wird der dem Gesichtsfelde gleiche Zerstreuungskreis kleiner als die Pupille des beobachteten Auges werden, um so kleiner, je weiter der Beobachter sich entfernt.

---

[1] S. § 11, S. 115.

B. Darstellung der Netzhaut im reellen umgekehrten Bilde.

Die zweite Methode, das Bild der Netzhaut dem Beobachter bequem sichtbar zu machen, besteht darin, dafs man nahe vor das beobachtete Auge eine Convexlinse von kurzer Brennweite, 1 bis 3 Zoll, hält. Es sei wieder in *Fig. 110* a ein beleuchteter Punkt der Netzhaut, b sein Bild aufserhalb des beobachteten Auges A, B eine Convexlinse, auf welche die Strahlen fallen, ehe sie sich zum Bilde vereinigen. Diese entwirft ein kleineres und näheres Bild, als b ist, in d, ebenfalls in umgekehrter Stellung, wie das in b. Das Auge des Beobachters befindet sich in C, so weit entfernt, als es zur Accommodation dieses Auges für das Bild nothwendig ist.

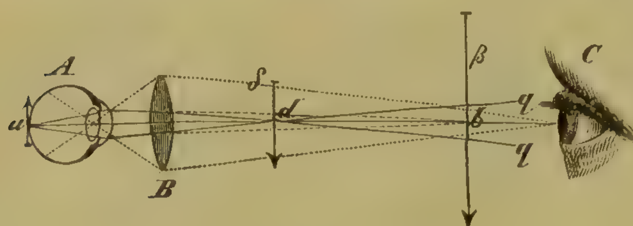


Fig. 110.

Ist p die positive Brennweite der Linse B, und wird die Entfernung Bb wieder mit α, Bd mit γ bezeichnet, so ist (Gleichung 14 auf S. 84)

$$\frac{\alpha}{\gamma} = \frac{\alpha + p}{p}.$$

179 Da α meist sehr viel gröfser ist als p, so wird γ nahehin gleich p, bleibt aber stets etwas kleiner.

Die Gröfse eines Netzhauttheiles im Punkte a sei x, die seines Bildes in b sei β, die des letzteren Bildes in d sei δ, und die Entfernung der Netzhaut vom hinteren Knotenpunkte des Auges sei y, die Entfernung des ersten Hauptpunktes der Linse B vom vorderen Knotenpunkte des Auges A sei q, so ist nach Gleichung 6 S. 67

$$\frac{x}{\beta} = \frac{y}{\alpha + q}$$

$$\frac{\beta}{\delta} = \frac{\alpha}{\gamma}.$$ Beides multiplicirt giebt

$$\frac{x}{\delta} = \frac{y \cdot \alpha}{\gamma \cdot (\alpha + q)} = \frac{y \cdot (\alpha + p)}{p \cdot (\alpha + q)}.$$

In der Regel stellt man die Linse B so, dafs die Pupille von A in ihrem einen Hauptbrennpunkte liegt, dann wird also p nahehin gleich q, und die Vergröfserung

$$\frac{\delta}{x} = \frac{p}{y}.$$

Nehmen wir für y den Werth aus LISTING's schematischem Auge, so ergiebt sich dafs das Bild δ

2 mal vergröfsert ist, wenn $p = 30$ mm (13,4‴)
3 mal wenn $p = 45$ mm (20,1‴)
4 mal wenn $p = 60$ mm (26,8‴).

Dies ist die wirkliche Vergröfserung des objectiven Bildes. Die Vergröfserung für den Beobachter, wenn die Entfernung Cd gleich c gesetzt wird, ist

$$\frac{p}{yc} \times 8 \text{ Zoll.}$$

Das Gesichtsfeld sieht der Beobachter bei dieser Methode begrenzt durch die Pupille des beobachteten Auges, so lange die Convexlinse diesem Auge sehr nahe steht. Je weiter man die Convexlinse aber entfernt, desto stärker vergröſsert erscheint die Pupille, bis sie endlich in die Nähe des Brennpunktes der Glaslinse kommt, dann verschwindet der Pupillarrand ganz aus dem Gesichtsfelde, und die Ausdehnung des letzteren wird nur noch von der Apertur dieser Linse bestimmt. Um die Gröſse des Gesichtsfeldes zu bestimmen, können wir wieder, wie in dem vorigen Falle, die Visirlinien des Beobachters wie Lichtstrahlen behandeln. Zunächst entwirft die Linse B ein Bild vom Kreuzungspunkt der Visirlinien in der Nähe ihres Brennpunktes, also nahehin in die Ebene der Pupille des beobachteten Auges. Von da divergiren die Visirlinien nach dem Hintergrund des beobachteten Auges hin. Da ihr Vereinigungspunkt in der Nähe des vorderen Knotenpunktes des beobachteten Auges liegen wird, oder vielleicht auch, je nach der Stellung der Linse B, ganz mit diesem Knotenpunkte zusammenfallen wird, so gehen die Visirlinien des Beobachters fast ungebrochen in das beobachtete Auge hinein. Ihr Gang ist in *Fig. 110* durch die punktirten Linien angedeutet. Ist die Apertur der Linse B gleich u, der Durchmesser des Gesichtsfeldes auf der Netzhaut gleich v, so ist

$$\frac{v}{y} = \frac{u}{p}.$$

Da man bei so kleinen Linsen recht gut die Apertur gleich der halben Brennweite machen kann, also $u = \frac{1}{2} p$, so wird alsdann

$$v = \frac{1}{2} y = 7\tfrac{1}{2} \text{ mm}.$$

Man übersieht also in diesem Falle ein gröſseres Gesichtsfeld, als es ohne künst- 180
liche Erweiterung der Pupille durch Atropin bei der Beobachtung mit Concavgläsern möglich ist.

VII.

Beleuchtungsapparate der Augenspiegel.

Nach den drei oben angeführten Methoden kann die Beleuchtung direct mit einem Lichte geschehen, oder mit einem durchbohrten undurchsichtigen Spiegel, oder mit unbelegten, also durchsichtigen Glasplatten als Spiegel.

Beleuchtung ohne allen Spiegel läſst sich nur für das umgekehrte Bild der Netzhaut anwenden, erfordert eine beträchtliche Geschicklichkeit, und wäre etwa nur da zu empfehlen, wo gerade kein anderes Instrument als eine einfache Convexlinse von kurzer Brennweite zur Hand ist. Die Ausführung der Beobachtung ist folgende. Der Beobachter sieht dicht neben einem Lichte vorbei und, durch einen Schirm gegen dessen directe Strahlen geschützt, wie es in *Fig. 104* abgebildet ist, nach dem beobachteten Auge hin, und bringt eine Convexlinse von 2 bis 4 Zoll Brennweite vor dieses Auge, wie in *Fig. 110*. Um die richtige Stellung zu finden, bringt man diese Linse zuerst ganz dicht vor das beobachtete Auge, und entfernt sie allmälig so weit, bis man die Pupille so stark vergröſsert erblickt, daſs ihre Ränder hinter denen der Linse verschwinden. Man erblickt dann ein umgekehrtes reelles Bild der Netzhaut bei d *Fig. 110*. Um die Helligkeit dieses Bildes zu bestimmen, verfolgen wir nach den Vorschriften von Nr. V dieses Paragraphen das Strahlenbündel, welches vom Netzhautpunkte a ausgeht; es wird von den brechenden

Flächen des Auges nach b hin, darauf von der Linse B nach d hin convergent gemacht, divergirt hinter d, und ist bei qq am Auge des Beobachters jedenfalls breit genug, daſs die Pupille des Beobachters ganz hineintauchen und also die Netzhautstelle mit ihrer ganzen wirklichen Helligkeit sehen kann. Diese wirkliche Helligkeit verhält sich zur normalen oder gröſstmöglichen Helligkeit nach V wie der Theil des Strahlenkegels qq, der die Flamme trifft, zum ganzen Strahlenkegel. Wenn nun die Flamme hinreichend groſs und passend gestellt ist, so brauchen nur sehr wenig Strahlen des Kegels qq bei der Flamme vorbei zu gehen, um die Pupille des Beobachters auszufüllen. Dann wird die wirkliche Helligkeit der Netzhautstelle a sehr wenig kleiner sein als die normale Helligkeit, und die scheinbare Helligkeit für den Beobachter gleich der wirklichen.

Sehr viel bequemer wird die Beobachtung, wenn der Beobachter einen durchbohrten undurchsichtigen Spiegel anwendet, um das Auge A zu erleuchten. Es sei in *Fig. 111* wieder A das beobachtete, B das beobachtende Auge, C die

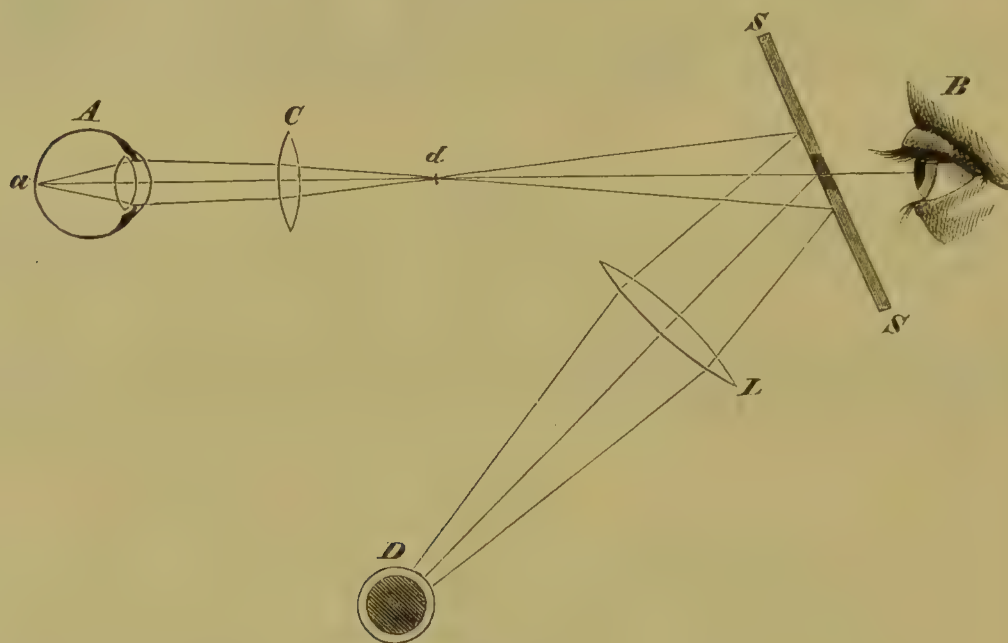


Fig. 111.

Convexlinse, und SS ein durchbohrter Spiegel. Von dem Netzhautpunkte a wir ein Bild bei d entworfen, welches der Beobachter durch die Öffnung des Spiegel hin betrachtet. Von dem ganzen von a kommenden Strahlenkegel geht nur de schmale Theil für die Beleuchtung verloren, welcher durch die Öffnung des Spiegel fällt, der ganze übrige Theil wird reflectirt und kann dem leuchtenden Körper zu gelenkt werden. Zu dem letzteren Ende ist entweder der Spiegel SS ein Hoh spiegel (RUETE), oder aber ein Planspiegel (COCCIUS) oder Concavspiegel (ZEHEN DER), neben dem man eine Linse L angebracht hat, welche die Strahlen auf de leuchtenden Körper vereinigt. Aus dieser Darstellung folgt schon nach Nr. daſs die Helligkeit der Erleuchtung nahezu die normale sein kann.

Das Gesichtsfeld für den Beobachter fanden wir bedingt durch die Gröſse d Linse C, wenn die Pupille im Brennpunkte dieser Linse steht. Es fragt sich, wie groſser Theil der Netzhaut erleuchtet werden kann. Da alles Licht durch d Linse C in das Auge des Beobachters fällt, kann natürlich das beleuchtete Fe
181 der Netzhaut nicht gröſser als das Zerstreuungsbild der Linse C sein, welches se

Zerstreuungsbild auch, wie wir in VI gezeigt haben, dem Gesichtsfelde des Beobachters entspricht. Dies Zerstreuungsbild wird in allen Theilen sein Maximum der Helligkeit haben, wenn von jedem Theil der Linse C Licht auf jeden Theil der Pupille fällt. Diese Bedingung wird erfüllt sein, wenn die Pupille des beobachteten Auges gleich oder kleiner als das Bild ist, welches die Linse C in der Nähe der Pupille von dem Spiegel SS (oder der Linse L) entwirft, und von jedem Punkte dieses Spiegels, mit nothwendiger Ausnahme der mittleren Durchbohrung, Licht auf jeden Theil der Linse C fällt. Das Letztere wird aber wiederum geschehen, wenn die Linse C an dem Orte steht, wo der Spiegel das Bild der Lampenflamme D entwirft, und die Linse gleich oder kleiner als dieses Bild ist.

Um ein Beispiel solcher Construction zu geben, wollen wir annehmen, man verlange von dem Augenspiegel eine viermalige Vergröfserung und gebe dem entsprechend der Linse C eine Brennweite von 60 mm und eine Apertur von 30 mm. Der Spiegel, welcher ein durchbohrter Concavspiegel ohne Linse sein möge, mufs soweit von dem Orte des Bildes d entfernt sein, dafs der Beobachter sein Auge für das Bild accommodiren kann, also etwa 150 mm. Dann steht der Spiegel S von der Linse C 210 mm ab. Nach der Gleichung § 9 Nr. 14b) wird sein von der Linse entworfenes Bild $= {}^{60}/_{150} = {}^{2}/_{5}$ seiner eigenen Gröfse sein. Da nun sein Bild der Pupille des beobachteten Auges gleich sein soll, und diese bei künstlicher Erweiterung bis auf 10 mm Durchmesser kommen kann, so brauchen wir dem Spiegel nur 25 mm Durchmesser zu geben.

Die Brennweite, welche wir dem Spiegel geben müssen, bestimmt sich nun durch die Bedingung, dafs er ein Bild der Lampenflamme entwerfen mufs, welches die Linse C deckt. Die Flamme gröfserer Argand'scher Brenner hat etwa 15 mm Durchmesser. Setzen wir in § 9 Gleichung 14b) für β_1 den Durchmesser der Linse C 30 mm, für β_2 den Durchmesser der Lampenflamme 15 mm, für f_1 die Entfernung CS gleich 210 mm, so wird die Brennweite des Spiegels gefunden gleich 70 mm, und die Lampenflamme mufs 105 mm vom Spiegel entfernt sein.

Wenn man nicht einen Concavspiegel, sondern einen ebenen Spiegel und eine convexe Glaslinse wie in *Fig. 111* anwenden will, mufs man statt der Entfernung des Spiegels von der Linse C in der Rechnung die Summe der Entfernungen der beiden Linsen L und C von der Mitte des Spiegels nehmen.

Wenn der Beobachter den Spiegel und die Linse frei in der Hand hält, wird es 182
natürlich nicht möglich sein, die Entfernungen dieser Theile, die der Rechnung zu Grunde gelegt sind, genau einzuhalten, und man wird auch bei ziemlich grofsen Abweichungen davon noch gute Bilder erhalten; dennoch ist es aber wohl für den Beobachter vortheilhaft, die besten Bedingungen für die Haltung seines Instruments zu kennen.

Wenn mit einem durchbohrten Spiegel und einem Concavglase beobachtet werden soll, sind die Verhältnisse ungünstiger. In *Fig. 112* ist wieder A das beobachtete, B das beobachtende Auge, S der Spiegel. Soll der Netzhautpunkt a beobachtet werden, so mufs ein Theil des von ihm ausgehenden Strahlenkegels in das Auge des Beobachters fallen; wir wollen diesen Theil α nennen; ein anderer Theil $(1-\alpha)$ von dem Spiegel nach dem Lichte reflectirt werden. Ist also H die normale Helligkeit der Netzhautstelle a, so wird unter diesen Umständen nach Nr. V dieses Paragraphen $H \cdot (1-\alpha)$

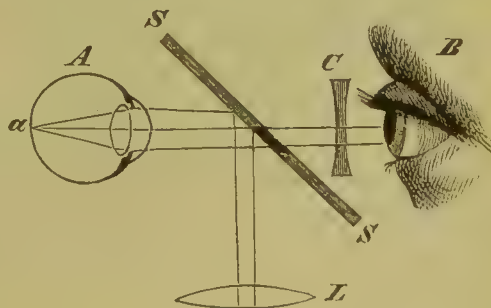


Fig. 112.

ihre wirkliche Helligkeit sein. Es sei wie früher J der Flächeninhalt der scheinbaren Pupille des beobachteten Auges A, R ebenderselbe von B, g die Entfernung

der beiden scheinbaren Pupillen von einander, und h die Accommodationsdistanz des Auges A, so ist der Querschnitt des Theils des Strahlenbündels, der in das Auge des Beobachters fällt,

$$\alpha \cdot J \cdot \frac{(h-g)^2}{h^2}.$$

Dieser Querschnitt wird in der Regel kleiner sein als R. Die scheinbare Helligkeit für den Beobachter wird dann

$$H \cdot \alpha \cdot (1-\alpha) \cdot \frac{J \cdot (h-g)^2}{R h^2}.$$

Die Gröfse $\alpha.(1-\alpha)$ erreicht ihr Maximum, wenn $\alpha = 1/2$, sie wird alsdann gleich $1/4$. Die vortheilhafteste Anordnung in Bezug auf Helligkeit wird also die sein, wo die Hälfte des Strahlenkegels in das Auge des Beobachters fällt, die Hälfte zurückgeworfen wird. Man erreicht dann die Helligkeit

$$H \cdot \frac{J \cdot (h-g)^2}{4\ R \cdot h^2}.$$

Um ein möglichst grofses Feld in dem beobachteten Auge zu beleuchten, wende man eine grofse und nahestehende Lampenflamme an, oder wenn dies nicht zureicht, kann man bei L eine Sammellinse anbringen. Entwirft diese ein Bild der Flamme, welches die Pupille ganz deckt, so wird im Auge A das ganze Zerstreuungsbild der Linse L beleuchtet.

Für die Beobachtung mit Convexlinsen würde die Beleuchtung mit unbelegten Glasplatten nur $1/4$ der Helligkeit geben, welche man mit durchbohrten undurchsichtigen Spiegeln erreichen kann. Dagegen kann diese Beleuchtung bei der Beobachtung mit Concavlinsen unter Umständen mit Vortheil angewendet werden.

Man stelle sich nämlich in *Fig. 112* den Spiegel SS vor als nicht durchbohrt und unbelegt, bestehend aus einer oder mehreren über einander gelegten Glasplatten. Es werde von jedem Lichtstrahl, der auf den Spiegel fällt, der Theil α durchgelassen, der Theil $(1-\alpha)$ zurückgeworfen. Ist H die normale Helligkeit der Netzhautstelle a, bei direct einfallendem Lichte, so giebt das von dem Spiegel
183 reflectirte Licht nur die Helligkeit $H.(1-\alpha)$. Der Querschnitt des Strahlenbündels, welches von a ausgeht, ist, da wo es auf B fällt, jetzt

$$J \cdot \frac{(h-g)^2}{h^2}.$$

Da nun der Theil α des Lichts durch die Platten hindurchgeht, so wird die scheinbare Helligkeit für den Beobachter:

$$H \cdot \alpha \cdot (1-\alpha) \cdot \frac{J \cdot (h-g)^2}{R \cdot h^2}.$$

Dieser Ausdruck erreicht auch in diesem Falle ein Maximum, wenn α gleich $1/2$ ist, und wird

$$H \cdot \frac{J \cdot (h-g)^2}{4\ R \cdot h^2},$$

so lange

$$R < \frac{J.(h-g)^2}{h^2}.$$

Diese Bedingung wird bei normalen Augen in der Regel erfüllt sein, da die Pupille J des von einer großen Lichtmenge getroffenen Auges A in der Regel enger sein wird als die Pupille R des Beobachters. Nur bei der künstlichen Erweiterung der Pupille J durch Atropin wird es nicht der Fall sein, und dann wird die scheinbare Helligkeit einfach gleich $^1/_4 H$. Im letzteren Falle ist die Beobachtung mit einem durchbohrten Spiegel vortheilhafter, denn dort gilt der gegebene Ausdruck für die Helligkeit, so lange

$$R < \alpha \cdot \frac{J.(h-g)^2}{h^2} \text{ und}$$

$$\alpha = {}^1/_2 \,.$$

Wenn man normale Augen ohne Anwendung von Atropin untersucht, so würde man mittels beider Arten der Beleuchtung dieselbe Helligkeit erhalten können, wenn die Pupillen unbeweglich wären. Der belegte Spiegel wirft aber im Ganzen mehr Licht in das beobachtete Auge, blendet es stärker, und die Pupille verengt sich mehr, so dafs unter diesen Umständen der unbelegte Spiegel ein gröfseres Gesichtsfeld und eine gröfsere Helligkeit geben kann. Aufserdem beleuchtet er die gesehene Netzhautfläche gleichmäfsig, während beim durchbohrten Spiegel das Zerstreuungsbild der Durchbohrung die Beleuchtung ungleichmäfsig macht. Endlich ist der Hornhautreflex bei dem unbelegten Spiegel weniger störend, weil das vom Spiegel reflectirte Licht mehr oder weniger polarisirt ist, und von der Hornhaut ohne Änderung seiner Polarisation zurückgeworfen nur zu einem sehr kleinen Theil durch die Platten zurückgeht,

Damit der unbelegte Spiegel die Hälfte des auffallenden Lichts zurückwerfe, kann man ihn entweder aus einer Glasplatte bestehen lassen, oder aus mehreren übereinandergelegten, mufs aber den Einfallswinkel der reflectirten Lichtstrahlen dann passend wählen. Der passende Einfallswinkel für

eine Platte ist 70°
drei Platten „ 60°
vier Platten „ 56°.

Formen der Augenspiegel.

1) Augenspiegel von Helmholtz[1], mit reflectirenden Glasplatten und Concavlinsen. Es ist dieser Augenspiegel auf *Fig. 113* im Querschnitt und natürlicher Gröfse, und in *Fig. 114* von vorn gesehen in halber Gröfse dargestellt, mit einer Modification der ursprünglichen Form, welche von dem Mechaniker Rekoss angebracht ist, nämlich 184
mit zwei beweglichen Scheiben, welche die nöthigen Concavlinsen enthalten. Die drei reflectirenden Glasplatten sind mit *a a* bezeichnet, sie bilden die nach vorn gekehrte Hypotenusenfläche eines prismatischen Kastens, dessen Grundfläche ein rechtwinkeliges Dreieck ist, wie man im Querschnitte *Fig. 113* sieht. Die übrigen Flächen des Prismas sind aus Metallplatten gebildet und, um das Licht möglichst vollständig zu absorbiren, innen mit schwarzem Sammet ausgelegt. Die kleinere Kathetenfläche des Prismas ist an dem Gestell des Augenspiegels so befestigt, dafs sie sich um die optische Axe des Instruments drehen kann, und hat dieser Axe entsprechend eine Öffnung. Die Glasplatten werden durch einen rechtwinkeligen Rahmen an dem prismatischen Kasten zurückgehalten; der Rahmen selbst ist durch zwei Schrauben *e e* an die dreiseitigen Grundflächen des Prismas befestigt. Die Glasplatten bilden einen Winkel von 56° mit der optischen Axe des Instruments.

[1] H. Helmholtz, *Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge.* Berlin 1852.

In das metallene Gestell des Instruments *g g* ist ferner eine Axe *d d* eingelassen, um welche sich zwei Scheiben *b b* und *c c* drehen. Jede dieser Scheiben hat fünf Öffnungen. In je vieren sind Concavgläser von 6 bis 13 Zoll Brennweite eingesetzt, die fünfte ist leer. Diese Öffnungen können nach einander in die optische Axe des Instruments gebracht werden, so dafs der Beobachter, welcher sein Auge an das beckenförmige Ocularstück *B* anlegt, durch sie und die Glasplatten *a a* hindurchsieht. In *Fig. 113* ist die leere Öffnung der Scheibe *b b* und eine mit einer Linse versehene der Scheibe *c c* vorgeschoben. So kann der Beobachter eine beliebige von den acht Linsen oder zwei von ihnen gleichzeitig vor sein Auge bringen. Damit die Scheiben ihre Stellung nicht ohne Willen des Beobachters verändern, sind an ihrem Rande Grübchen angebracht, in welche sich die Enden zweier Federn *h* einlegen.

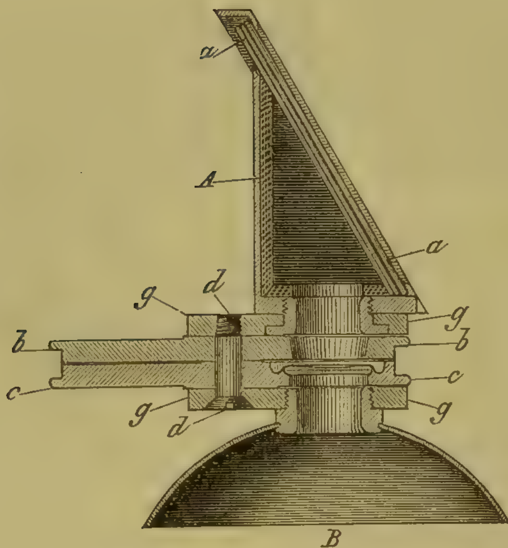


Fig. 113.

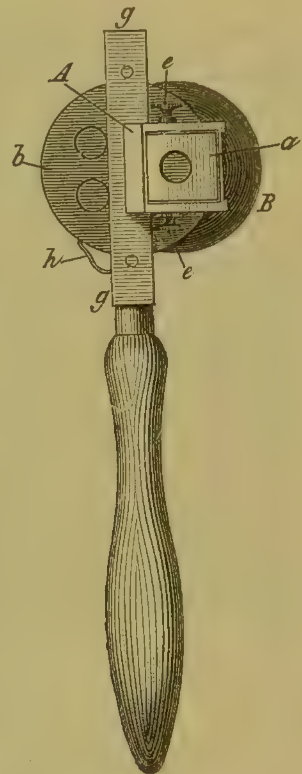


Fig. 114.

Für Beobachtungen mit Concavgläsern, also bei starker Vergröfserung, an Personen deren Pupille nicht künstlich erweitert ist, und bei grofser Empfindlichkeit des beobachtete Auges gegen Licht, finde ich unter den beweglichen Spiegeln diese erste Form des Augen spiegels aus den Gründen, welche ich oben bei der Theorie der Beleuchtung durc unbelegte Glasplatten angeführt habe, noch immer am vortheilhaftesten. Wenn ei gesundes Auge durch diesen Spiegel beobachtet wird, kann es die Erleuchtung Stunde lang, ohne geblendet zu werden, ertragen. Ich selbst habe oft 20 Studirenden hinte einander meine Netzhaut mit diesem Instrumente ohne Unbequemlichkeit gezeigt, währen die Beleuchtung mit belegten Spiegeln nicht 5 Minuten ohne starke Blendung des Auge ertragen wird. Ich ziehe deshalb diesen Spiegel zu den meisten physiologischen Ve suchen den anderen Formen vor. Für die augenärztlichen Untersuchungen dagegen wir ein gröfseres Gesichtsfeld und gröfsere Helligkeit bei geringerer Vergröfserung mei vortheilhafter sein, und deshalb werden für dergleichen Beobachtungen meist belegt durchbohrte Spiegel mit Convexlinsen angewendet.

Will man den Spiegel gebrauchen, so setzt sich der Beobachter dicht vor de Beobachteten, und stellt an seiner Seite eine hell brennende Lampe auf. Ein undurc sichtiger Schirm wird so aufgestellt, dafs er das Gesicht des Beobachteten beschatte

)er Beobachter bringt zuerst den Spiegel, ohne hindurchzusehen, ungefähr in die ichtige Stellung vor das Gesicht des Beobachteten, und dreht ihn so, dafs die Glaslatten ihren hellen Reflex auf das zu beobachtende Auge werfen. Dann blickt er iindurch und erblickt nun die Netzhaut roth erleuchtet. Wenn er nicht sogleich sein uge für die feineren Theile der Netzhaut accommodiren kann, dreht er mit dem Zigenger der Hand, welche das Instrument hält, eine der Scheiben, welche die Linsen nthält, bis er die passende Concavlinse gefunden hat.

Wenn die Beleuchtung der Netzhaut verschwindet, achte man nur auf den hellen ˌeflex der Glasplatten im Gesichte des Beobachteten und führe diesen wieder auf das uge zurück.

2) Augenspiegel von Ruete[1], mit durchbohrtem Concavspiegel, auf Stativ argestellt in *Fig. 115.* Auf einem runden Fufse von Holz ruht eine hohle Säule *a*, in eren Axenkanale sich ein runder Stab *b* von Holz befindet, der hoch und niedrig eschoben und durch eine Feder, die sich am unteren Ende desselben befindet, in jeder eliebigen Höhe festgestellt werden kann. Auf diesem Stabe sitzt ein Halbkreis von lessing *c*, der sich mit dem Stabe hoch und niedrig, rechts und links stellen läfst. In iesem Halbkreise ist ein in der Mitte durchbohrter Hohlspiegel *d* von etwa 3 Par. Zoll

)urchmesser und von einer 185
3rennweite von etwa 10 Par. Zoll durch Schrauben, lie je nach dem Bedürfnisse elüftet oder stärker angeogen werden können, so efestigt, dafs er um seine Iorizontalaxe gedreht werlen kann. In der Mitte ler Säule *a* befinden sich wei hölzerne Ringe *e* und ', welche sich um die Säule lrehen lassen. Jeder Ring rägt einen horizontal ausaufenden Arm *g* und *h*; ler Arm *g* trägt einen geschwärzten Schirm, der inestheils dazu dient, um las Licht der Lampe vom Beobachter abzuhalten, an-

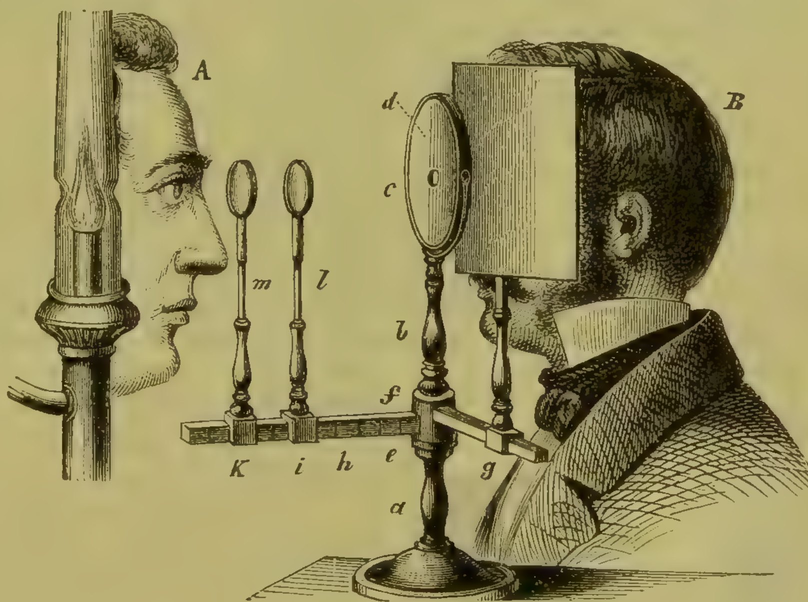


Fig. 115.

lerntheils auch dazu, um, wenn es nöthig ist, das vom Spiegel in das beobachtete Auge fallende Licht abzuschwächen, was man dadurch bewirkt, dafs man einen Theil les Spiegels durch den Schirm beschattet. Der Arm *h*, welcher in 12 Zolle eingetheilt st, trägt zwei verticale Säulen, *i* und *k*, die rück- und vorwärts geschoben werden können; in jeder verticalen Säule steckt ein am unteren Ende mit einer Feder versehener Stift von Messing *l* und *m*, den man auf- und abwärts schieben kann, und der durch die Feder in jeder Höhe, die man ihm giebt, festgehalten wird. Auf diese Stifte steckt man je nach den Umständen concave oder convexe Gläser, welche die aus dem beobachteten Auge zurückkehrenden Lichtstrahlen zu einem deutlichen Bilde für den Beobachter vereinigen. *A* ist der Beobachtete, *B* der Beobachter. Die Zeichnung ergiebt leicht das Übrige.

Für die Beobachtungen mit Concavlinsen, die in der augenärztlichen Praxis allerdings wohl eine seltenere Anwendung finden, ist das Instrument nicht gut geeignet, weil sich die beiden Augen nicht hinreichend nähern können, und deshalb das Gesichtsfeld sehr klein wird. Für Beobachtungen mit Convexlinsen dagegen, die ungeübten Beobachtern

[1] Th. Ruete, *Der Augenspiegel und das Optometer.* Göttingen 1852.

demonstrirt werden sollen, erscheint das Instrument bequem, namentlich, wenn man durch einen Assistenten den Kopf des Beobachteten so dirigiren läfst, dafs seine Pupille in den Focus der Lichtstrahlen kommt; auch kann durch Anbringung einer zweiten convexen Ocularlinse (die dann aber wohl besser hinter dem Spiegel anzubringen wäre) eine Art kleinen Fernrohrs zusammengesetzt und eine stärkere Vergröfserung erreicht werden. Die Helligkeit des Instruments ist sehr grofs. Gelegenheit, die Netzhautbilder zu beobachten, ist nicht gegeben.

3) In praktischem Gebrauche geblieben ist schliefslich von diesem Instrumente nur der Concavspiegel *d*, an einem kleinen Handgriff befestigt, den der Beobachter in der rechten Hand hält, und die Convexlinse *m*, die er zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand nimmt, während er den kleinen Finger der linken Hand auf das Gesicht des Patienten stützt. Die Linse braucht er, wie S. 219 unten beschrieben ist. Den Convexspiegel hält er vor sein eigenes Auge, blickt durch die mittlere Öffnung und wendet ihn so, dafs der Reflex des Lichtes auf die Linse und durch dieselbe auf das beobachtete Auge fällt

Von dieser Art ist der in der Graefe'schen Klinik üblich gewordene kleinere Liebreichsche Augenspiegel mit durchbohrtem belegtem Concavspiegel, mit zwei Convexlinsen (2 und 3 Zoll Brennweite) und 5 Linsen, die hinter dem Spiegel in einer Gabel zu befestigen sind, um dem Beobachter die Accommodation zu erleichtern (+ 10, — 6, — 8, — 10, — 12 Zoll). Sie werden in grofser Zahl fabrikmäfsig dargestellt, und sind selbst in Westentaschenformat zu haben.

4) Epkens' Augenspiegel, verbessert von Donders und van Trigt[1], feststehend auf einem Gestell, hauptsächlich zu physiologischen Beobachtungen der Bilder und zum Zeichnen brauchbar. Ein ebener durchbohrter Glasspiegel reflectirt das Licht, und hat hinter sich die Rekoss'schen Scheiben mit Concavgläsern. Das Licht scheint durch eine Röhre auf den Spiegel, die verlängert werden kann und an ihrem Ende zwei einander gegenüberstehende Metallspitzen trägt, deren Abstand durch eine Mikrometerschraube regulirt werden kann. Der Beobachtete sieht sie in deutlichem Spiegelbilde, und hat auf seiner Netzhaut ein deutliches Bild derselben. So kann die Beschaffenheit der optischen Bilder auf seiner Netzhaut, die Lage derselben und auch die Gröfse der gesehenen Netzhauttheile ermittelt werden.



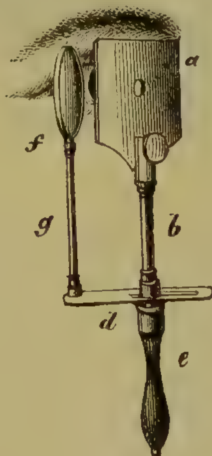


Fig. 116.

186 5) Portativer Augenspiegel von Coccius,[2] mit durchbohrtem, belegtem, ebenem Spiegel mit einer Beleuchtungslinse. Er ist abgebildet in *Fig. 116.* Das Instrument besteht aus einem viereckigen Planspiegel *a* von 14 Par. Lin. Seite. Die Öffnung hat 2 Par. Lin. Durchmesser, und ihr vorderer, dem beobachteten Auge zugekehrter Rand ist etwas abgeschliffen. Der Spiegel ist in eine dünne Messingplatte gefafst, welche an ihrem untern Ende in einen kleinen Fortsatz übergeht, der an der Stange *b* befestigt ist. Die Beleuchtungslinse hat 5 Zoll Brennweite; um sie aber auch mit anderen vertauschen zu können, ist sie in einen geschlitzten federnden Ring *f* eingesetzt, von der Stange *g* und
187 dem geschlitzten Querbalken *d* getragen. Der letztere wird durch festes Anschrauben des Griffes *e* festgeklemmt, um die Stellung der Linse gegen den Spiegel zu sichern, welche man gewählt hat. Auseinander genommen kann das Instrument in ein kleines Etui gelegt werden.

---

[1] van Trigt, *Dissertatio de Speculo oculi.* Utrecht 1853. *Nederlandsch Lancet.* Ser. 3. Dl. II. 430. Deutsch von Schauenburg, Lahr 1854.

[2] A. Coccius, *Über die Anwendung des Augenspiegels, nebst Angabe eines neuen Instruments.* Leipzig 18

Coccius bringt, wie Ruete, die Concavgläser wie die Convexgläser zwischen Spiegel und Licht an. Da das Erstere wegen der Reflexe unvortheilhaft ist, hat man später mehrere Hohlgläser in einem Schieberchen oder einzeln in Ringen an der Rückseite des Spiegels angebracht.

Wegen seiner Beweglichkeit ist dieser Spiegel für ärztliche Zwecke wohl brauchbarer, als der von Ruete, aber jedenfalls schwerer zu richten, als der Concavspiegel ohne Linse.

6) Portativer Spiegel von Zehender,[1] mit durchbohrtem convexen Metallspiegel und Beleuchtungslinse, mit ähnlicher Faſsung, wie der von Coccius. Im Wesentlichen unterscheidet sich das Instrument von dem letzteren nur dadurch, daſs statt des ebenen Glasspiegels ein convexer Metallspiegel von 6 Zoll Radius angebracht ist. Indem man die convexe Linse dem convexen Spiegel näher oder ferner stellt, erhält man ein reflectirendes System von veränderlicher Brennweite, was man den Umständen anpassen kann. Ein wesentlicher Vortheil scheint mir noch in dem Umstande zu liegen, daſs der Spiegel von Metall gefertigt ist, und daher der Rand des Sehlochs dünn, gut geschwärzt und ohne Licht reflectirende Unebenheiten ist. Vorher habe ich nachgewiesen, daſs bei den Beobachtungen mit dem durchbohrten Spiegel und der Concavlinse zur Erlangung der gröſsten Helligkeit nur die Hälfte des von einem Punkte der Netzhaut ausgehenden Strahlenbündels in das Auge des Beobachters fallen darf, falls nicht die Pupille des beobachteten Auges den mehr als doppelten Flächeninhalt von der des Beobachters hat. Der Beobachter wird daher in der Regel sich einen Theil seiner Pupille mit dem Rande der Öffnung des Spiegels verdecken müssen, und einen Theil dieses Randes gerade vor dem Auge haben. Es ist daher vortheilhaft, an diesem Rande Alles zu vermeiden, was Licht reflectiren könnte, und das ist bei Zehenders Metallspiegeln viel besser erreicht als bei Coccius' Glasspiegeln.

7) Neuerdings ist von Loring-Wadsworth, Cohn, v. Wecker, Knapp, Landolt das *n*
System der Rekoss'schen Scheiben sehr ausgebildet worden, indem bis zu 29 kleine Linsen von verschiedener Brennweite, theils in einer, theils in zwei hinter einander liegenden Scheiben sich vereinigen. Sie werden Refractions-Ophthalmoskope genannt, und dienen hauptsächlich dazu, die Sehweiten des beobachteten Auges zu controlliren.

Von den Beobachtungen, welche mit dem Augenspiegel an normalen Augen an- *187*
zustellen sind, erwähne ich Folgendes. Der Grund des Auges erscheint bei starker Beleuchtung (mit belegten Spiegeln und Convexlinsen) roth, nur die Eintrittsstelle des Sehnerven zeichnet sich hellweiſs ab. Man sieht auf dem rothen Grunde zunächst die Netzhautgefäſse verlaufen, deren Stämme aus der Mitte des weiſsen Sehnerven hervortreten. Die Arterien sind durch ihre lichtere rothe Farbe und durch einen stärkeren Lichtreflex an ihrer Oberfläche zu erkennen. Zwischen den Netzhautgefäſsen erscheint der Grund des Auges je nach der Menge des Pigments bald hellroth, bald braun, und man erkennt, namentlich an den mehr zur Seite gelegenen Theilen sehr häufig die Gefäſse der Aderhaut, wie es in *Taf. II Fig. 1* dargestellt ist. Man sieht in der Mitte die *188*
Eintrittsstelle des Sehnerven; *a a a* sind Äste der Netzhautarterie, *b b b* der Netzhautvene, dazwischen sieht man die viel weiteren Gefäſse der Aderhaut. Letztere sind nicht immer gleich deutlich; in den meisten Augen ist die Pigmentschicht über diesen Gefäſsen so dünn, daſs sie sich dadurch von den stärker pigmentirten Zwischenräumen abheben.

Bei starker Beleuchtung zeigt der Augengrund keine auffallenden Unterschiede in der Helligkeit, mit Ausnahme der Eintrittsstelle der Sehnerven. Es scheint, daſs dabei verhältniſsmäſsig viel Licht durch die Pigmentschicht dringt, von den Gefäſsen der Aderhaut und der Sclerotica reflectirt wird und wieder zurückkehrt. Daſs bei den meisten Augen ziemlich viel Licht durch die Augenhäute dringen kann, zeigt uns der Versuch (§ 10, S. 86), bei welchem das Netzhautbildchen im inneren Augenwinkel sichtbar wird, und ferner die entoptische Erscheinung der Aderfigur der Netzhaut mittels Lichts, welches die Sclerotica

---

[1] W. Zehender, *Gräfe's Archiv für Ophthalm.* 1854. I. S. 121.

durchdringt (s. S. 193). Dieser Theil des zurückkehrenden Lichts, welcher von der Reflexion in der Aderhaut und Sehnenhaut herrührt, bleibt nun wohl ziemlich gleich auf allen Stellen des Augengrundes, auch wenn die Helligkeit der Netzhaut selbst variirt.

Bei schwacher Beleuchtung (mit reflectirenden Glasplatten) erscheinen dagegen die Theile des Augengrundes in der Nähe des Sehnerven besonders hell, und die Helligkeit nimmt von hier aus im Allgemeinen nach den Rändern der Netzhaut hin gleichmäfsig ab, nur die Stelle des directen Sehens zeichnet sich besonders durch geringe Helligkeit und eine mehr gelbliche Farbe vor ihrer Nachbarschaft aus, was bei der stärkeren Beleuchtung nicht der Fall ist. Der Grund davon ist wohl darin zu suchen, dafs bei schwacher Beleuchtung nicht merklich viel Licht durch die Pigmentschicht hin und zurück geht, daher der wahrnehmbare Lichtreflex hauptsächlich von den Theilen der Netzhaut, namentlich ihren Gefäfsen herrührt. Letztere fehlen an der Stelle des directen Sehens.

Die letztere Stelle zeigt bei beiden Beobachtungsweisen ein kleines lichtes Fleckchen von querovaler Form, welches Coccius, der es zunächst bemerkte, als den Reflex der Netzhautgrube bezeichnet, während Donders später direct nachwies, dafs dieser kleine Lichtreflex die Stelle des directen Sehens einnimmt.

Man mufs zu diesem Versuche einen ebenen Spiegel anwenden, hinter welchem eine Concavlinse steht (Donders-Epkens oder Helmholtz). Als Gesichtsobject benutze man eine Lichtflamme oder das Mikrometer an Donders' Instrumente. Das beobachtete Auge sieht das gewählte Object im Spiegelbilde; man sorge, dafs es sich gehörig dafür accommodiren könne, und lasse es einen bestimmten Punkt des Objects fixiren. Der Beobachter erblickt dann ein ganz scharf gezeichnetes umgekehrtes Bild des Objects auf der Netzhaut des beobachteten Auges und an der direct fixirten Stelle den Reflex der Netzhautgrube. Sollte dieser zu schwach sein, um von Anfang her wahrgenommen zu werden, so geschieht dies leichter, wenn der Beobachter den Beobachteten bald auf diesen, bald auf jenen Theil des Gesichtsobjects seinen Blick zu richten heifst. Der kleine Reflex wandert dann dem entsprechend auf dem Netzhautbilde umher.

Um die Genauigkeit des Netzhautbildes zu prüfen, ist das von Donders an dem Augenspiegel von Epkens angebrachte Mikrometer zweckmäfsig zu gebrauchen. Für meinen Spiegel wähle ich zu dem gleichen Zwecke als Gesichtsobject einen vor einem Lichte in horizontaler Richtung ausgespannten Faden. Von verticalen feinen Linien giebt mein Instrument nämlich wegen der mehrfachen reflectirenden Flächen mehrfache
189 Bilder. Sobald das beobachtete Auge sich scharf für das betreffende Object accommodirt, erscheint es auch im Netzhautbilde ganz scharf. Sowie sich die Accommodation ändert, wird es verwaschen. Übrigens braucht man gar nicht so feine Objecte, um die Veränderung des Bildes bei der Accommodation zu sehen. Es genügt, wenn das beobachtete Auge nicht kurzsichtig ist, in der Ferne ein Licht aufzustellen, dessen Netzhautbild im beobachteten Auge man betrachtet. während dieses Auge abwechselnd nach einem fernen oder nahen Gesichtspunkte, die in gleicher Richtung liegen, hinblickt. Bei der Accommodation für die Ferne erscheint auch das Bild des fernen Lichts deutlich, bei der Accommodation für die Nähe wird es verwaschen. Meistens verschwinden dem Beobachter dabei auch die Netzhauttheile des beobachteten Auges, wenn er mit der Accommodation seines Auges der neuen Lage des Bildes nicht folgen kann, und er mufs dann ein anderes Concavglas gebrauchen, um sich zu überzeugen, dafs auf der deutlich gesehenen Netzhaut des beobachteten Auges ein undeutliches Bild des fernen Lichts entworfen sei. Der Versuch kann auch so abgeändert werden, dafs das beobachtete Auge fortdauernd in die Ferne sieht, das Licht aber in die Nähe gebracht wird, damit sich der Beobachter überzeuge, dafs von dem nahen Lichte ein undeutliches Bild entworfen werde.

Historisch. Das Augenleuchten ist seit ältester Zeit bekannt an den Augen von Hunden, Katzen und anderen Thieren, welche im Hintergrunde ihres Auges ein Tapetum, d. h. eine pigmentlose, mit stark reflectirenden dünnen Fasern oder Lamellen belegte Stelle haben. Bei diesen ist der Lichtreflex so stark, dafs er unter einigermafsen günstigen

Umständen leicht gesehen wird. Eine sehr allgemein verbreitete alte Meinung war es, daſs die sogenannten leuchtenden Thieraugen Licht entwickeln sollten, namentlich wenn die Thiere gereizt würden, daher man denn geneigt war, diese angeblich vorhandene Lichtentwickelung dem Einflusse des Nervensystems zuzuschreiben. Man sieht das Leuchten der Thieraugen in dunklen Räumen am auffallendsten, wenn Licht von der Rückseite des Beobachters dicht neben seinem Kopfe vorbei in das Auge des Thieres fällt, und eben deshalb konnte den Beobachtern oft das wirklich einfallende Licht verborgen bleiben. Ebenso sollten die pigmentlosen Augen weiſser Kaninchen und albinotischer Menschen durch eigene Lichtentwickelung leuchten. PREVOST[1] zeigte zuerst, daſs das sogenannte Leuchten der Thieraugen niemals in vollkommener Dunkelheit und weder willkürlich noch durch Affecte hervorgebracht wird, sondern stets nur durch Reflexion von einfallendem Lichte entstehen kann. GRUITHUISEN[2] hat unabhängig hiervon dasselbe gefunden; er weist nach, daſs das Tapetum daran Schuld sei, verbunden mit einer „auſserordentlichen Brechung" der Linse. Auch in den Augen todter Thiere sah er das Leuchten. Diese Thatsachen bestätigten RUDOLPHI[3], J. MÜLLER[4], ESSEN[5], TIEDEMANN[6], HASSENSTEIN[7]. RUDOLPHI macht darauf aufmerksam, daſs man in einer bestimmten Richtung in das Auge sehen müsse, um das Leuchten wahrzunehmen. ESSER erklärt richtig den Wechsel der Farbe daraus, daſs verschiedene gefärbte Theile der Netzhaut durch die Pupille erblickt würden, HASSENSTEIN endlich findet, daſs das Leuchten hervortritt, wenn die Augen in Richtung ihrer Axe comprimirt werden, und vermuthete, daſs auch beim lebende Thiere das Leuchten willkürlich erregt werde, indem durch den Druck der Muskeln die Augenaxe verkürzt werde. Man erkannte also das Leuchten als ein Reflexphänomen an, ohne sich aber klar zu machen, von welchen Bedingungen das Leuchten oder Nichtleuchten abhinge.

An menschlichen Augen war das Leuchten früher nur bei seltenen Krankheitszuständen beobachtet worden, namentlich bei Geschwülsten im Hintergrunde des Auges. Auch bei Mangel der Iris hat BEHR[8] es gesehen und gefunden, daſs die Augen des Beobachters fast ganz parallel mit den einfallenden Strahlen nach den Augen der Kranken blicken muſsten, welches die Grundbedingung von BRÜCKES Methode, das Augenleuchten zu beobachten, ist. Das Leuchten ist in solchen Fällen von Irismangel auffallender, weil die Beleuchtung der Netzhaut viel stärker ist; auſserdem fehlt die Accommodationsfähigkeit des Auges.

Endlich fanden W. CUMMING[9] und BRÜCKE[10] unabhängig von einander das Verfahren, gesunde menschliche Augen leuchtend erscheinen zu machen, indem der Beobachter den 190
einfallenden Lichtstrahlen nahe parallel hineinblickt. Letzterer hat dieselbe Methode schon vorher auf die mit einem Tapetum versehenen Thieraugen angewendet. Endlich erwähnt WHARTON JONES[11], das BABBAGE ungefähr zu derselben Zeit ihm einen belegten Glasspiegel gezeigt habe, von dessen Belegung eine kleine Stelle weggenommen war, um Licht in das Auge zu werfen und durch die Öffnung hineinzusehen. Dies erinnert schon sehr an den Augenspiegel von COCCIUS; aber da BABBAGE keine Linsen mit seinem Spiegel verbunden zu haben scheint, so hat er höchstens ausnahmsweise von den Theilen der Netzhaut etwas erkennen können, und hat deshalb wohl seine Erfindung damals nicht veröffentlicht.

---

[1] PREVOST, *Biblioth. britannique.* 1810. T. 45.
[2] F. GRUITHUISEN, *Beiträge zur Physiognosie und Eautognosie.* S. 199.
[3] RUDOLPHI, *Lehrbuch der Physiologie.* I. 197.
[4] J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie d. Gesichtsinns.* Leipzig 1826. S. 49. — *Handbuch der Physiologie.* 4. Aufl. I. 89.
[5] ESSER, *Kastners Archiv für die gesammte Naturlehre.* Bd. VIII. S. 399.
[6] F. TIEDEMANN, *Lehrbuch der Physiologie.* S. 509.
[7] HASSENSTEIN, *De luce ex quorundam animalium oculis prodeunte atque de tapeto lucido.* Jenae 1836.
[8] BEHR, *Heckers Annalen.* 1839. I. S. 373.
[9] W. GUMMING, *Medico-chirurgical Transactions.* XXIX. p. 284.
[10] E. BRÜCKE, *J. Müllers Archiv für Anat. u. Physiologie.* 1847. S. 225.
[11] WHARTON JONES, *Archives générales de Médicine.* 1854. II.

Die andere Seite der Frage, warum nämlich die Theile der Netzhaut, auch wenn sie beleuchtet sind, z. B. in Thieraugen mit Tapetum, in Augen von Albinos, dem Beobachter nicht erkennbar sind, ist öfter besprochen worden. Ihre Lösung lag mehr auf der Hand. Schon im Anfange des 18. Jahrhunderts hatte Méry[1] beobachtet, dafs er bei einer Katze, die er unter Wasser getaucht hatte, in den Augen, welche stark leuchtend erschienen, die Netzhautgefäfse erkennen konnte. La Hire[2] gab von diesem letzteren Umstande die richtige Erklärung. Dafs eine veränderte Brechung der Strahlen nothwendig sei, um das Auge leuchtend erscheinen zu machen, sah er ein, aber eine nähere Erklärung weifs er nicht zu geben. Ebenso Kussmaul[3]. Letzterer zeigt, dafs die Netzhaut hell und erkennbar werde, wenn man entweder vorn vom Auge die Hornhaut und Linse entfernt, oder etwas vom Glaskörper herausnimmt und dadurch die Augenaxe verkürzt.

Ich selbst[4] bin, so viel ich finde, der Erste gewesen, welcher sich den Zusammenhang zwischen den Richtungen der einfallenden und ausgehenden Strahlen klar machte, den wahren Grund für die Schwärze der Pupille und dadurch auch das Princip für die Construction der Augenspiegel fand. Zur Beleuchtung wendete ich ebene unbelegte Glasplatten an, zur Erkennung der Netzhaut Concavgläser. Th. Ruete war dagegen der Erste, welcher einen durchbohrten Spiegel anwandte, und die Beobachtung durch Convexlinsen. Da das neue Instrument in kurzer Zeit eine aufserordentliche Wichtigkeit in der Augenheilkunde erreichte, sind nachher noch eine grofse Zahl verschiedener Formen von Augenspiegeln construirt worden, von denen ich oben die wichtigsten aufgeführt habe. Wesentlich neue Principien für die Erleuchtung oder Erkennung der Netzhaut sind dabei aber nicht mehr gefunden worden.

Die von mir aufgestellte Theorie des Augenleuchtens und der Augenspiegel hat keine wesentlichen Veränderungen erfahren. Die Verbesserungen, welche Stellwag von Carion daran anzubringen gesucht hat, kann ich nicht als solche anerkennen. Dieser übrigens um die Einführung physikalischer Kenntnisse in seine Wissenschaft eifrig bemühte Augenarzt ist bei den hierher gehörigen Arbeiten durch falsche Grundprinzipien über die Stärke der Beleuchtung und Helligkeit durchaus irre geführt worden.

---

1 J. Méry, *Annales de l'Acad. d. sc.* 1704.

2 Ph. de la Hire, ebenda. 1709.

3 Kussmaul, *Die Farbenerscheinungen im Grunde des menschlichen Auges.* Heidelberg 1845.

4 H. Helmholtz, *Beschreibung eines Augenspiegels zur Beobachtung der Netzhaut im lebenden Auge.* Berlin 1851. — Ferner in *Vierordt's Archiv für physiol. Heilkunde.* II. 827.

Zweiter Abschnitt.

Die Lehre von den Gesichtsempfindungen.

§ 17. Von der Reizung des Sehnervenapparates.

Die Nervenapparate des menschlichen und thierischen Körpers werden 191
durch Einwirkung äufserer Agentien verschiedener Art in einen veränderten Zustand versetzt, den man einerseits an ihnen durch physikalische Hülfsmittel, nämlich durch die Untersuchung ihrer elektromotorischen Wirksamkeit erkennen kann, und der sich andererseits durch Wirkungen zu erkennen giebt, welche die Nerven in anderen mit ihnen organisch verbundenen Theilen des Körpers hervorbringen. So verräth sich dieser veränderte Zustand einiger Nerven durch Zusammenziehungen der mit ihnen verbundenen Muskeln; diese werden motorische Nerven genannt. Andere erregen unter denselben Umständen Empfindungen in dem Gehirne, als dem körperlichen Organe des Bewufstseins, und heifsen deshalb sensible Nerven. Bei den motorischen Nerven ist nun der auffälligste Erfolg der verschiedenartigsten äufseren Einwirkungen, des Zerrens, Quetschens, Zerschneidens, des Brennens, Anätzens, der elektrischen Durchströmungen, immer die Zusammenziehung des zugehörigen Muskels, welche nur quantitative Unterschiede der
Stärke zeigt. Man fafst deshalb die genannten verschiedenartigen Einwir- 192
kungen in ihrem Verhältnisse zu den motorischen Nerven unter einen Namen, den der Reize, zusammen, indem man von ihren qualitativen Verschiedenheiten abstrahirt und sie nur nach der verschiedenen Stärke der Zuckungen, welche sie hervorbringen, quantitativ als stärker oder schwächer reizend von einander unterscheidet. Den veränderten Zustand im Nerven selbst, welcher in Folge der Einwirkung eines Reizes eintritt, nennt man die Reizung, und die Fähigkeit des Nerven, nach Einwirkung von Reizen Muskelzuckungen hervorzubringen, die Reizbarkeit. Diese Fähigkeit kann durch Absterben und mancherlei äufsere Einwirkungen beeinträchtigt werden.

Bei den sensiblen Nerven läfst sich das Schema dieser Begriffe noch insofern wieder anwenden, als auch in ihnen die äufseren Einwirkungen, welche, auf einen motorischen Nerven angewendet, Zuckungen hervorzubringen vermögen, wiederum alle eine andere Wirkung eigenthümlicher Art, nämlich eine Empfindung hervorrufen, so lange der Nerv noch nicht abgestorben und vom Gehirne getrennt ist. Aber allerdings tritt hier schon der wesentliche Unterschied ein, dafs die Empfindung qualitative Unterschiede zeigt, entsprechend den qualitativen Unterschieden der Einwirkung. Indessen, wenn auch verschiedene Reize verschiedene Empfindungen hervorrufen, so sind die Wirkungen der Reize doch immer Empfindungen, also immer Wirkungen, von einer sonst nicht vorkommenden, dem lebenden Körper eigenthümlichen Art, und eben deshalb hat man den zuerst für die Verhältnisse der motorischen Nerven abstrahirten Begriff der Reize und der Reizung auch auf die der sensiblen Nerven übertragen, und man nennt deshalb ebenso die äufseren Einwirkungen, welche auf lebende sensible Nerven angewendet die Entstehung von Empfindungen veranlassen, Reize, die im Nerven eingetretene Veränderung selbst die Reizung.

Der Zustand der Reizung, welcher an jeder Stelle einer Nervenfaser durch Einwirkung von Reizen eingeleitet werden kann, pflanzt sich stets auch auf alle anderen Theile der Nervenfaser fort, und giebt sich auch in diesen theils durch die veränderten elektromotorischen Wirkungen zu erkennen, theils durch seinen Einflufs auf die anderen organischen Gebilde, Muskeln, Gehirn, Drüsen u. s. w., mit denen der Nerv verbunden ist, indem Zusammenziehung des Muskels, oder Empfindung, oder vermehrte Absonderung der Drüse eintritt. Nur wo eingreifende Veränderungen der Structur des Nerven durch mechanische oder chemische Eingriffe, durch Gerinnung des Inhalts der Nervenfasern beim Absterben eingetreten sind, findet die Fortleitung der Reizung ein Hindernifs. Jeder Stelle einer unverletzten Nervenfaser kommt deshalb nicht blofs Reizbarkeit, d. h. die Fähigkeit, in Reizung versetzt zu werden, sondern auch Leitungsfähigkeit für die Reizung zu. Eine Trennung beider Fähigkeiten ist noch nicht beobachtet worden. Übrigens sind bisher noch keine Unterschiede in der Structur und Function der sensiblen und motorischen Fasern bekannt, welche nicht von ihrer verschiedenen Verbindung mit anderen organischen Systemen hergeleitet werden könnten. Die Fasern selbst scheinen nur die Rolle indifferenter leitender Fäden zu spielen, die, je nachdem sie mit einem Muskel oder mit empfindenden Gehirntheilen organisch verbunden sind, als motorische oder sensible Nerven wirken.

193 Die Empfindungen des Menschen zerfallen ihrer Qualität nach in fünf Gruppen, welche den sogenannten fünf Sinnen entsprechen, in der Weise, dafs nur die Qualitäten derjenigen Empfindungen unter einander vergleichbar sind, welche dem Qualitätenkreise desselben Sinnes, nicht aber solche, welche zwei verschiedenen Sinnen angehören. So können wir z. B. zwei verschiedene

Empfindungen, die dem Gesichtssinne angehören, nach Lichtintensität und Farbe vergleichen, aber keine von ihnen mit einer Tonempfindung oder Geruchsempfindung.

Die physiologische Erfahrung hat, soweit Prüfung möglich war, gefunden, dafs durch Reizung jeder einzelnen sensiblen Nervenfaser nur solche Empfindungen entstehen können, welche dem Qualitätenkreise eines einzigen bestimmten Sinnes angehören, und dafs jeder Reiz, welcher diese Nervenfaser überhaupt zu erregen vermag, nur Empfindungen dieses besonderen Kreises hervorruft. Vollständig experimentell beweisen läfst sich der Satz nur für solche Nervenfasern, die in besonderen Nervenstämmen, getrennt von allen Fasern, die anderen Sinnen angehören, zusammenliegen, wie die des Gesichtssinnes im *Nervus opticus*, die des Gehörs im *Nervus acusticus*, die des Geruchs im *Nervus olfactorius*, die des Tastsinns in den hinteren Rückenmarkswurzeln. Läfst man auf diese Nervenstämme verschiedene Reizmittel einwirken, so entstehen zwar verschiedene Empfindungen, aber nur Empfindungen, die dem Qualitätenkreise des betreffenden Sinnes angehören. Für solche sensible Nervenfasern dagegen, die mit Fasern anderer Art in demselben Stamme verlaufen, wie die Geschmacksnerven mit Tastnerven der Zunge im *Nervus glossopharyngeus* und *lingualis* vereinigt sind, läfst sich dasselbe Verhältnifs wenigstens daraus wahrscheinlich machen, dafs in Krankheitszuständen zuweilen isolirt Lähmung der Geschmacksempfindungen allein ohne Lähmung der Tastempfindungen oder umgekehrt vorkommt, und auch daraus, dafs alle anderen Tastnerven der Fähigkeit, Geschmacksempfindungen zu vermitteln, ermangeln.

Dem Kreise des Gesichtssinns gehören die Lichtempfindungen an, welche alle unter sich in Bezug auf Lichtstärke und Farbe vergleichbar sind. Denjenigen Theil der Nervenmasse des Körpers, durch dessen Reizung dergleichen Empfindungen entstehen können, nennen wir nach J. Müller die Sehsinnsubstanz, oder auch wohl den Sehnervenapparat. Dazu gehört die Netzhaut, der Sehnerv und ein begrenzter Theil des Gehirns, in welchen die Wurzelfaserungen des Sehnerven eintreten. Kein anderer Nervenapparat des Körpers kann Lichtempfindung, d. h. eine Empfindung von derselben Qualität wie der Sehnervenapparat vermitteln, obgleich die leuchtenden Ätherschwingungen auch durch die Tastnerven wahrgenommen werden können, aber freilich in einer ganz anderen Empfindungsqualität, nämlich als Empfindung strahlender Wärme. Es findet hier dasselbe statt, wie bei den Luftschwingungen, welche der Hörnerv als Ton empfindet, während sie gleichzeitig in der Haut die Tastempfindung des Schwirrens erregen, dasselbe wie bei dem Essig, den die Zunge als sauer schmeckt, und der in einer entblöfsten Hautstelle oder auf einer zarten Schleimhaut, wie die Bindehaut des Auges ist, durch eine Tastempfindung, nämlich durch schmerzhaftes 194
Brennen, sich bemerklich macht.

Andererseits können nicht blos die leuchtenden Ätherschwingungen den Sehnervenapparat erregen, sondern auch mannigfache andere Reizmittel, namentlich mechanische Einwirkungen und elektrische Ströme, welche ja auch alle anderen Nervenapparate des Körpers in den Zustand von Reizung zu versetzen vermögen. Wenn aber diese Reize den Sehnerven oder die Netzhaut treffen, bringen sie immer nur Gesichtsempfindungen hervor, nicht Gehörs- oder Geruchsempfindungen, und wenn sie etwa gleichzeitig Tastempfindungen erregen, so müssen wir voraussetzen, dafs dies geschieht, weil sich im Auge und vielleicht selbst in der Masse des Sehnerven, wie in allen inneren Theilen des Körpers, auch besondere Tastnerven verbreiten. Diese Tastempfindungen, welche durch Einwirkung von Druck oder Elektricität auf das Auge entstehen, unterscheiden sich übrigens noch dadurch von den gleichzeitig erregten Lichtempfindungen, dafs jene am Orte der Reizung wahrgenommen werden, letztere dagegen von der Vorstellung als helle Objecte in das Gesichtsfeld verlegt werden. Wir kommen darauf bei der genaueren Beschreibung der mechanischen Reizung des Auges noch einmal zurück.

Da es sich mit den übrigen Sinnesnerven ebenso verhält, so geht daraus hervor, dafs die Qualität der sinnlichen Empfindung hauptsächlich von der eigenthümlichen Beschaffenheit des Nervenapparats abhängt, erst in zweiter Linie von der Beschaffenheit des wahrgenommenen Objects. Zu dem Qualitätenkreise welches Sinnes die entstehende Empfindung gehört, hängt sogar gar nicht von dem äufseren Objecte, sondern ausschliefslich von der Art des getroffenen Nerven ab. Welche besondere Empfindung aus dem betreffenden Qualitätenkreise hervorgerufen wird, erst dies hängt auch von der Natur des äufseren Objectes ab, welches die Empfindung erregt. Ob uns die Sonnenstrahlen als Licht- oder Wärmestrahlung erscheinen, hängt nur davon ab, ob wir sie durch den Sehnerven oder durch die Hautnerven empfinden; ob sie aber als rothes oder blaues, schwaches oder starkes Licht, sengende oder milde Wärme erscheinen, hängt gleichzeitig von der Art der Strahlen, wie von dem Zustande des Nervenapparates ab. Die Qualität der Sinnesempfindung ist also keineswegs identisch mit der Qualität des Objects, durch welche sie hervorgerufen wird, sondern sie ist in physischer Beziehung nur eine Wirkung der äufseren Qualität auf einen besonderen Nervenapparat, und für unsere Vorstellungen ist die Qualität der Empfindung gleichsam nur ein Symbol, ein Erkennungszeichen für die objective Qualität.

Das erste und hauptsächlichste Reizmittel des Sehnerven ist das objective Licht. Ich nenne es das erste und hauptsächlichste, weil es bei weitem häufiger und anhaltender auf den Sehnerven einwirkt, als andere Reize, und weil demgemäfs auch fast nur die durch objectives Licht hervorgerufenen Empfindungen des Sehnervenapparates zur Wahrnehmung äufserer Objecte verwendet werden. Eine besondere specifische Beziehung oder Homogeneität zwischen dem objectiven Lichte und dem Nervenagens der Sehnerven, wie sie von älteren Philosophen und Physiologen meist vorausgesetz

urde, brauchen wir deshalb nicht anzunehmen. Denn weder ist der Sehnerv er einzige Nerv, welcher durch objectives Licht gereizt wird — auch die 195 autnerven können es werden — noch ist das objective Licht das einzige eizmittel des Sehnerven. Dafs es das häufigste, und deshalb wichtigste t, erklärt sich einfach aus der geschützten Lage des Sehnerven und der etzhaut, die dem Lichte sehr leicht, mechanischen Eindrücken und elek-ischen Strömungen viel schwerer zugänglich sind. Diese überwiegende äufigkeit und Wichtigkeit der Reizung durch objectives Licht hat nun auch ie Menschen bestimmt, denjenigen Theil der Ätherschwingungen, welche ichtempfindung zu erregen im Stande ist, mit dem Namen **Licht** zu be-gen, welcher eigentlich nur der dadurch erregten Empfindung zukommen ollte. Man schied die Sonnenstrahlen in **Sonnenlicht** und **Sonnenwärme**, ach den beiden Empfindungsweisen, welche sie zu erregen im Stande sind. o lange die Menschen über die Natur ihrer Sinnesempfindungen nicht eiter nachgedacht hatten, mufsten sie geneigt sein, die Empfindungsquali-iten unmittelbar auf die äufseren Dinge zu übertragen, und so in den onnenstrahlen zwei, den zwei Empfindungen entsprechende Objecte voraus-usetzen. Man wufste aufserdem zunächst über die Sonnenstrahlen weiter ichts, als was die Empfindung aussagte, und man beobachtete neben solchen trahlungen, bei denen, wie in den Sonnenstrahlen, die schneller schwingen-en Wellenzüge überwiegen, die das Auge viel stärker afficiren als die laut, andere, in denen die langsameren Oscillationen überwiegen, und die ie Haut kräftig, das Auge schwach oder gar nicht afficiren, so dafs auch bjectiv eine Trennung beider Agentien vorzukommen schien. Erst in der euesten Zeit hat eine sorgfältige Untersuchung der von unseren Nerven-pparaten unabhängigen Eigenschaften der leuchtenden und nicht leuchten-en Wärmestrahlen die Physiker überzeugt, dafs zwischen ihnen kein anderer nterschied als der der Schwingungsdauer besteht, und hat dadurch die hysik von dem Einflusse, den die Sinnesempfindungen in diesem Falle so ange unberechtigter Weise ausgeübt hatten, befreit. Die nähere Besprechung es objectiven Lichtes als Reizmittel der Netzhaut bleibt den nächstfolgen-en Paragraphen vorbehalten.

Die Erscheinungen bei **mechanischer Reizung** des Sehnervenapparates ind nach der Ausdehnung der Reizung verschieden. Bei einem plötzlichen chlag oder Stofs auf das Auge entsteht ein blitzähnlich erscheinender und wie-ler verschwindender, oft sehr heller Lichtschein über das ganze Gesichtsfeld hin. lteren irrthümlichen Erklärungen dieser Erscheinung gegenüber mag hier her-orgehoben werden, dafs wenn dies im Dunkeln geschieht, ein anderer Beobach-er dabei in dem Auge des Getroffenen keine Spur von objectivem Lichte er-lickt, so lebhaft auch der subjective Blitz sein mag, und dafs es ebenso venig möglich ist, durch diese subjective Erleuchtung des dunkeln Gesichts-eldes irgend etwas von den wirklichen Objecten der Aufsenwelt zu erkennen.[1]

[1] Über einen gerichtlichen Fall, wo Jemand im Finstern einen Schlag auf das Auge bekommen und bei em dadurch erregten Lichtschein den Angreifer erkannt haben will, s. J. MÜLLER, *Arch. f. Anat.* 1834. S. 140.

Besser untersuchen läfst sich die Wirkung beschränkten Druckes. Wen man irgendwo am Rande der Augenhöhle mit einer stumpfen Spitze, z. I der des Fingernagels, gegen den Augapfel drückt, so entsteht eine Licht-
196 erscheinung, **Druckbild** oder **Phosphen**, und zwar an derjenigen Stelle de Gesichtsfeldes, welche der gedrückten Stelle der Netzhaut entspricht. Wen man oben drückt, erscheint also der helle Fleck an der unteren Grenze de Gesichtsfeldes, drückt man am äufseren Augenwinkel, so erscheint er a Nasenrücken, drückt man unten oder innen, so erscheint er oben oder aufser. Wenn der drückende Körper nicht breit ist, hat die Erscheinung gewöhnlic ein helles Centrum, umgeben von einem dunklen und einem hellen Kreis. Ich finde, dafs sie am hellsten ist, wenn der Druck etwa den Äquatoria umfang des Auges trifft, wo die Sclerotica am dünnsten ist. Das Druckbil erscheint dann an der Grenze des dunkeln Gesichtsfeldes als eine hell Bogenlinie, etwa halbkreisförmig. Es ist unter diesen Umständen ziemlic weit von dem Gesichtspunkte (dem am genauesten gesehenen Punkte de Gesichtsfeldes, welcher dem gelben Fleck entspricht) entfernt, und fällt de halb, wenn man die Augen öffnet, mit dem Bilde äufserer Gegenstände zu sammen, die nur undeutlich wahrgenommen werden. Doch erkennt man be einiger Übung im indirecten Sehen, namentlich wenn sich auffallend hell Gegenstände am scheinbaren Orte des Druckbildes befinden, dafs die Ol jecte in der Gegend des Druckbildes Verzerrungen (wegen der Einbiegun der Sclerotica und Retina) erleiden, und oft auch stellenweise verdunke werden. Man kann aber das Druckbild auch dem Gesichtspunkte näh bringen, wenn man das Auge stark nach innen wendet, während man aufse drückt oder stark nach aufsen wendet, während man am inneren Auger winkel drückt, dabei wird es ein wenig schwächer, weil die hintere Fläch der Sclerotica dem Drucke gröfseren Widerstand leistet. Einzelnen Persone (z. B. Thomas Young) gelingt es auch wohl durch Druck am äufseren Auge winkel das Druckbildchen bis an die Stelle des directen Sehens vorzubringe Mir gelingt dies nicht, doch kommt das Druckbildchen dem Gesichtspunkt so nahe, dafs ich wahrnehmen kann, wie in seinem Centrum die Bilder de äufseren Gegenstände verschwinden. In *Fig. 8, Taf. I.* ist das Druckbi dargestellt, wie es mir erscheint, wenn ich zwischen Auge und Nase e weifses Papierblatt gegen das Gesicht stelle, das Auge möglichst nach de inneren Seite wende, und mit einer stumpfen Spitze am äufseren Rande de Augenhöhle drücke. *N* bezeichnet die Nasenseite; das Druckbild bestel aus einem dunkeln Flecke, von einem hellen senkrechten Streifen durcl zogen. Von dem dunkeln Flecke geht, wenn man in richtiger Höhe drück ein horizontaler Fortsatz aus, dessen Spitze bei *a* den Fixationspunkt be rührt, und aufserdem ist in der Gegend des Sehnerveneintritts ein unbestimm gezeichneter Schatten *b* sichtbar. Wie man die Stelle des Sehnerveneintrit im Gesichtsfelde erkennen kann, wird in § 18 auseinandergesetzt werde Ein System feiner paralleler bogenförmiger Linien zwischen dem dunkel Druckbilde und dem Gesichtspunkte hat schon Purkinje bemerkt und al

ebildet. Ich sehe sie nicht so ausgebildet, wie er sie abbildet, am besten, enn die Helligkeit der entsprechenden Stelle des Gesichtsfeldes grofs ist.

Im dunkeln Gesichtsfelde dagegen erscheint eine helle gelbliche Kreisäche, in deren Innerem sich zuweilen ein dunkler Fleck oder ein dunkler ing abzeichnet. Ein schwaches Licht erscheint auch an der Eintrittsstelle es Sehnerven, sodafs die Erscheinung ungefähr der *Fig. 8, Taf. I.* entpricht, wenn man Hell und Dunkel vertauscht denkt. Nur den Fortsatz 197 um gelben Fleck hin habe ich im dunkeln Felde nicht sehen können.

Wieder anders sind die Erscheinungen, wenn man längere Zeit einen äfsigen Druck gleichmäfsig auf den Augapfel wirken läfst, indem man ihn on vorn her entweder mit den weicheren Stellen der Handwurzel oder mit en zusammengelegten Fingerspitzen einer Hand drückt. Nach kurzer Zeit reten dann sehr glänzende und wechselnde lichte Figuren im Gesichtsfelde uf, die ein wunderliches, phantastisches Spiel vollführen und oft den glänendsten kaleidoskopischen Darstellungen, wie sie in neuerer Zeit mit Hülfe es elektrischen Lichts entworfen werden, ähnlich sind. PURKINJE hat diese rscheinungen sehr genau verfolgt, beschrieben und abgebildet; sie scheinen seinen Augen eine grofse Regelmäfsigkeit gehabt zu haben. Meist zeigen sich auf einem mit feinen Vierecken regelmäfsig gemusterten Grunde ntweder achtstrahlige sternförmige Figuren, oder dunkle oder helle rhomische Flächen, deren Diagonalen vertical und horizontal gerichtet waren, nd die von abwechselnd hellen und dunkeln Bändern umgeben waren, Bei ir selbst finde ich keine solche Regelmäfsigkeit der Figuren; der Grund es Gesichtsfeldes ist meist anfangs fein gemustert, aber in den mannigfaligsten Weisen und mit den verschiedensten Farben, sehr oft als wären ehr viele feine Blättchen oder Moosstengel ausgestreut, ein anderes Mal rscheinen allerlei Vierecke, hell braungelb, mit dunkeln griechischen Linienustern, zuletzt entwickeln sich meist auf braungelbem Grunde dunkle Liniensysteme, die zuweilen sehr verwickelte sternförmige Figuren, zuweilen ur ein unentwirrbares labyrinthisches Knäuel bilden, und in fortdauernder chwankender oder strömender Bewegung begriffen sind. Aufserdem pflegen ich sehr helle blaue oder rothe Funken in einzelnen Stellen des Feldes ängere Zeit zu erhalten. Läfst man mit dem Drucke nach, wenn die Ercheinung im gröfsten Glanze entwickelt ist, ohne dafs äufseres Licht in das Auge dringt, so dauert das Spiel ähnlicher Figuren noch eine Zeit lang ort, und verschwindet, allmälig dunkler werdend. Öffnet man dagegen das Auge, indem man mit dem Drucke nachläfst, gegen helle äufsere Objecte, o herrscht im ersten Momente Dunkelheit, dann werden allmälig in der Mitte des Gesichtsfelds einzelne helle Objecte, aber mit intensivem Glanze ichtbar. So sehe ich z. B. einzelne weifse Papierblätter in ihrer wahren estalt in blendender Helligkeit auftauchen, auf ihnen aber noch Reste des orher vorhandenen Figurenmusters sichtbar, dessen dunkle Theile hier hell rscheinen. Allmälig verliert sich dann die abnorme Helligkeit in demselben Maafse, wie es die Druckbilder vor dem geschlossenen Auge thun, aber

noch längere Zeit unterscheidet sich das gedrückte Auge von dem andern dadurch, dafs ihm das Gesichtsfeld mehr violett erscheint, dem ungeprefste Auge dagegen gelblich. VIERORDT und LAIBLIN berichten, bei anhaltenden Druck auf das Auge die Verästelungen der Gefäfse der Netzhaut roth au dunklem Grunde gesehen zu haben, was ich bisher vergebens versucht habe Aufserdem erscheinen VIERORDT die Retinalgefäfse dabei häufig in eine bläulich glänzenden Färbung. Ferner haben sie, wie auch früher STEINBACH und PURKINJE, ein Gefäfsnetz mit strömendem Inhalte gesehen. Letztere erklärte es für das venöse Adernetz der Retina; LAIBLIN schliefst aus seine
198 Beobachtungen, da es neben den vorher erwähnten Retinalgefäfsen sichtba war, dafs die wahrgenommene Circulation „einer anderen gefäfsreichere mehr nach aufsen gelegenen Retinalschicht" angehören müsse. MEISSNE und mir selbst ist es nie gelungen, unter den Druckbildern des Auges aufse zuweilen aufblitzenden Zügen der bekannten Aderfigur der Netzhaut etwa einem Gefäfse Ähnliches zu sehen, und wenn ich auch als Schlufsstadium fast immer labyrinthische Liniensysteme in strömender Bewegung sehe, s ist deren Anordnung doch mit keinem Gefäfsnetze zu vergleichen. Zu be merken ist übrigens für die Theorie dieser Erscheinungen, dafs nach de von DONDERS mit dem Augenspiegel ausgeführten Untersuchungen durc Druck auf das Auge allerdings Veränderungen in den Netzhautgefäfsen ein treten, indem zuerst die Venen zu pulsiren anfangen und später das Bl aus ihnen sich ganz entleert. Diese veränderten Zustände der Gefäfs mögen von manchen Augen empfunden werden können. Sonst möchte ic die unruhigen und wechselnden Bilder, welche durch anhaltenden Druck i Auge erzeugt werden, mit dem Gefühle des Ameisenlaufens vergleiche welches in eingeschlafenen Gliedern, deren Nervenstämme längere Zeit eine Drucke ausgesetzt gewesen sind, eintritt. Wenn wir, schief auf einer Hüf sitzend, den Hüftnerven drücken, verliert bald der Fufs und Unterschenk die Fähigkeit, Berührung äufserer Objecte zu empfinden; dagegen tritt e heftiges Kriebeln in den taub gewordenen Theilen der Haut ein, welches ähnlicher Weise schnell wechselnde Erregungen der empfindenden Nerve fasern verräth, wie sie bei dem entsprechenden Zustande der Netzhaut sic durch die wechselnden feinen Figuren im Gesichtsfelde zeigen. Wenn da der Druck nachläfst, sind bei wiederkehrender Fähigkeit äufsere Objec wahrzunehmen, die ersten Berührungen des Fufses oft schmerzhaft, währen das Auge äufsere Gegenstände in blendendem Lichte wahrnimmt.

Ein anderes Phänomen, was einer mechanischen Reizung der Netzha anzugehören scheint, sind gewisse lichte Flecke, welche empfindliche Aug im dunkeln Gesichtsfelde sehen, wenn sie eine schnelle Bewegung d Auges vollführen. In *Taf. I, Fig. 9*, sind sie abgebildet, wie sie im gemei schaftlichen Gesichtsfelde beider Augen mir erscheinen, wenn die Augen Richtung des Pfeils nach links hin bewegt worden sind. Das mit *L* bezeic nete gehört dem linken, das andere dem rechten Auge an. Die Erscheinu ist in dem nach einwärts bewegten Auge, hier dem rechten, weniger entwick

ls in dem nach auswärts bewegten. Ich selbst sehe sie nur des Morgens leich nach dem Erwachen, oder bei Unwohlsein; andere Beobachter, wie 'urkinje und Czermak[1], sehen sie zu jeder Tageszeit im Dunkeln als eurige Ringe oder Halbringe. Ihre Entfernung vom Gesichtspunkte ist ine solche, dafs ein Beobachter, der die später zu beschreibenden Phänonene des sogenannten blinden Flecks gut kennt, daraus schliefsen kann, lafs sie der Eintrittsstelle des Sehnerven angehören. Sie entstehen also vahrscheinlich dadurch, dafs bei schnellen Bewegungen des Auges der Sehierv vom Augapfel mit in Bewegung gesetzt und an seiner Eintrittsstelle 199
ezerrt wird. Purkinje[2] sieht an der Eintrittsstelle des Sehnerven auch lauernd einen lichten Ring, wenn er das Auge stark nach innen wendet, iach der Mitte des Gesichtsfeldes umgeben von concentrischen hellen Streifen, während bei mir die Erscheinungen nur immer momentan aufauchen. Stellt man den Versuch mit offenem Auge vor einer weifsen gleichnäfsig beleuchteten Fläche an, so erscheinen bei starker Drehung des Auges lunkle Flecken dem Sehnerveneintritt entsprechend, die, wie Czermak benerkt, beim Drehen nach innen leichter eintreten, und eine regelmäfsigere Kreisform annehmen als beim Drehen nach aufsen. In dem röthlichen Felde, welches die geschlossenen und von aufsen beleuchteten Augenlider geben, erscheinen diese dunkeln Flecke blau. Ich selbst erkenne übrigens auch in den dunkeln Flecken Spuren derselben Ährenform, welche die Lichterscheinung im dunkeln Felde zeigt, während Czermak hervorhebt, dafs bei ihm letztere Erscheinung nicht das negative Abbild der ersteren sei. Auch hier scheinen also die gereizten Nervenfasern ihre Empfindlichkeit gegen äufsere Reize durch die Zerrung zu verlieren. Als gereizt mufs man in diesem Falle wohl die Fasern betrachten, die in unmittelbarer Nähe des Sehnerven enden, da die Eintrittsstelle des Sehnerven selbst gegen Lichtreiz unempfindlich ist, und daher nicht zu erwarten ist, dafs dort irgend welche der Lichtempfindung fähige Fasern enden, bei deren Reizung eine Lichtempfindung gerade an diese Stelle des Gesichtsfelds verlegt werden könnte. Endlich ist hierher auch wohl das von Purkinje[3] und Czermak[4] beobachtete Accommodationsphosphen zu rechnen. Wenn man im Finstern die Augen für das Sehen in nächster Nähe einrichtet und dann plötzlich wieder für die Ferne accommodirt, so bemerkt man nahe an der Peripherie des Gesichtsfeldes einen ziemlich schmalen feurigen Saum, welcher, ringförmig in sich selbst zurücklaufend, in dem Momente aufblitzt, wo man mit der fühlbaren Anstrengung fürs Nahesehen nachläfst. Purkinje sah die Erscheinung auch bei plötzlichem Nachlafs gleichmäfsigen Drucks auf das Auge. Ich selbst habe sie früher nicht, neuerdings zuweilen undeutlich sehen können. Czermak erklärt sie dadurch, dafs im Momente, wo der Zug des Ciliarmuskels

[1] J. Czermak, *Physiologische Studien.* Abtheilung I. § 5. S. 42 u. Abth. II. S. 32. — *Wiener Sitzungsber.* 54.
[2] J. E. Purkinje, *Beiträge zur Kenntnifs des Sehens.* S. 78.
[3] J. E. Purkinje, *Zur Physiologie der Sinne.* Bd. I. 126. II. 115.
[4] J. Czermak, *Wiener Sitzungsber.* XXVII. 78.

nachläfst, die erschlaffte Zonula sich wieder spannt, während die Linse noch in radialer Richtung verkürzt ist und dadurch eine plötzliche Zerrung des äufsersten Randes der Netzhaut eintritt, dessen Ende mit der Zonula verklebt ist.

Accommodire ich stark für die Nähe, während das Auge nach einer gleichmäfsig erleuchteten weifsen Fläche gekehrt ist, so entsteht im Fixationspunkte ein schattiger Fleck, am Rande braun abschattirt, von dem auch wohl braune oder hell violette Streifen sich nach verschiedenen Seiten hinziehen. Dann pflegt sich das Gesichtsfeld schnell zu verdunkeln, während netzförmige Zeichnungen und Theile der Aderfigur, dunkel auf weifsem Grunde darin sichtbar werden. Bei Nachlafs der Accommodation für die Nähe schwindet alles. PURKINJE beschreibt den braunen Fleck, sah aber
200 dessen Centrum weifs. Hierher gehört auch ein elliptischer gefleckter Lichtschein, den PURKINJE[1] bei dunklem Gesichtsfelde erblickte, wenn er mit dem Druck der Augenlider plötzlich nachliefs. Damit die Erscheinung zu Stande kam, war es nöthig, dafs kurz vorher äufseres Licht auf das Auge gewirkt hat. Ich selbst kann sie nicht sehen.

Durchschneidung und Zerrung der blofsgelegten Sehnerven bei Hunden ruft keine Schmerzensäufserungen hervor, während die gleichen Verletzungen ebenso starker Hautnervenstämme die allerheftigsten Schmerzen erregen. Beim Menschen wird durch krebsige Entartungen des Auges zuweilen die Exstirpation des Augapfels nöthig. Wenn der Sehnerv in solchen Fällen noch nicht selbst entartet ist, werden im Augenblicke der Durchschneidung des Sehnerven grofse Lichtmassen gesehen[2], während die Kranken dabei etwas gröfseren Schmerz haben, als bei der Durchschneidung der übrigen benachbarten Theile. Dafs die Durchschneidung des Sehnerven ganz ohne solchen Schmerz, wie ihn die Tastnerven empfinden, vor sich gehen sollte, dürfen wir nicht erwarten, da wenigstens die übrigen gröfseren Nervenstämme ihre *Nervi nervorum* haben, besondere empfindende Fasern, die ihnen ebenso gut zukommen, wie allen übrigen inneren Theilen des Körpers, und welche ihre örtliche Empfindlichkeit vermitteln. Bei den vorderen Wurzeln der Rückenmarksnerven, durch welche nur motorische Fasern aus dem Rückenmarke austreten, kann man nachweisen, dafs solche *Nervi nervorum* ihnen aus den hinteren sensiblen Wurzeln zugeschickt werden. Wenn der *Nervus ulnaris* hinter dem inneren Ellenbogenhöcker gestofsen wird, giebt sich die Reizung der durchlaufendzn Fasern des Nerven durch einen Schmerz kund, der scheinbar im Verbreitungsbezirke des Nerven am fünften und vierten Finger stattfindet, während ein anderer Schmerz an der gestofsenen Stelle selbst, welcher unangenehmer ist, als wenn nur die Haut getroffen wäre, den Nerven des Nervenstammes zugeschrieben werden mufs. Ebenso fühlen wir, indem wir am äufseren Augenwinkel den Augapfel drücken, örtlich de

[1] J. E. PURKINJE, *Zur Physiologie der Sinne.* II. 78.
[2] TOURTUAL *in J. Müller's Handbuch der Physiologie.* Coblenz 1840. Bd. II. S. 259.

chmerz des Druckes mittels der empfindenden Nerven dieser Stelle, und ehen einen Lichtschein, den wir in die Gegend des Nasenrückens verlegen. twas Ähnliches kann bei der Reizung des Sehnervenstammes vorkommen.

Dafs der Sehnerv und die Netzhaut, welche fähig sind ein so feines gens, wie das Licht ist, zu empfinden, gegen die gröbste mechanische lifshandlung ziemlich unempfindlich bleiben, d. h. keinen in das Gebiet der astempfindungen gehörigen Schmerz empfinden, erschien früher als ein underbares Paradoxon. Die Lösung ergiebt sich einfach daraus, dafs die ualität aller Empfindungen des Sehnerven in den Kreis der Lichtempfin- ungen gehört. Es fehlt ihm also nicht die Empfindlichkeit, aber die Form er Empfindung ist eine andere.

Sehr mannigfaltig ist ferner das Gebiet der Lichtempfindungen aus in- eren Ursachen. Es gehören dahin eine Menge von Lichterscheinungen n Gesichtsfelde, welche in allerlei Krankheitszuständen des Auges oder des anzen Körpers auftreten, bald über das ganze Feld ergossen, bald räumlich egrenzt, und im letzteren Falle bald in Form unregelmäfsiger Flecken, 201
ald als Phantasmen, Menschen, Thiere u. s. w. nachahmend. Vielfach lögen dabei mechanische Ursachen mitwirken, vermehrter Druck des Blutes n den Gefäfsen oder der Augenflüssigkeiten; so sieht man beim Nachlasse leichmäfsigen Drucks auf den Augapfel häufig Stücke der Gefäfsfigur auf- litzen, oder sieht nach heftigen Anstrengungen theils einzelne pulsirende tellen, theils gröfsere Stücke der Gefäfsfigur[1]. In anderen Fällen mag es ine Art chemischer Reizung durch veränderte Zusammensetzung des Blutes ein, z. B. im Falle narkotischer Vergiftungen. Endlich sind manche von iesen Erscheinungen auch wohl zu erklären durch Ausbreitung des Reizungs- ustandes innerhalb der Centraltheile von anderen Theilen des Nervensystems uf die Wurzeln des Sehnerven. Übertragung der Reizung von einem ur- prünglich erregten empfindenden Nerven auf einen anderen solchen Nerven, er von keinem äufseren Einflusse getroffen ist, nennen wir Mitempfindung. o erregt der Anblick grofser heller Flächen, z. B. von der Sonne beleuch- eter Schneefelder, bei vielen Personen gleichzeitig Kitzel in der Nase, oder as Hören gewisser kratzender und quiekender Töne ein Kältegefühl, wel- hes längs des Rückens herabläuft. Dergleichen Mitempfindungen scheinen uch im Sehnervenapparate vorkommen zu können, wenn andere Empfindungs- erven erregt sind, z. B. die des Darms durch Eingeweidewürmer bei Kin- lern oder durch aufgehäufte Darmcontenta, Blutstockungen und andere Ab- ormitäten bei Hypochondern. Eigentliche Phantasmen, d. h. Lichtbilder, velche das Ansehen bekannter Objecte der Aufsenwelt an sich tragen, cheinen durch eine ähnliche Übertragung des Erregungszustandes von den ei der Bildung von Vorstellungen thätigen Theilen des Gehirns auf den ehnervenapparat entstehen zu können. Es sind dergleichen gesehen worden

[1] J. E. PURKINJE, *Zur Physiologie der Sinne.* I. 134. II. 115, 118. — *Subjective Erscheinungen nach Wirkung r Digitalis.* II. 120.

von vielen Beobachtern, welche sich, während sie es sahen, der subjectiven Natur des Phantasma durchaus bewufst waren[1]. Einige, wie GOETHE und J. MÜLLER, konnten sogar zu jeder Zeit, wenn sie lange in das dunkle Gesichtsfeld der geschlossenen Augen hineinsahen, dergleichen Erscheinungen
n sehen. AUBERT[2] beschreibt ebenfalls Phantasmen, die durch Vorstellungen erregt werden, ohne doch in ihrem Inhalt von diesen bedingt zu sein.

201 Übrigens ist das Gesichtsfeld auch des gesunden Menschen zu keiner Zeit ganz frei von solchen Erscheinungen, die man das Lichtchaos, den Lichtstaub des dunkeln Gesichtsfeldes genannt hat; da sie bei manchen Erscheinungen, z. B. den Nachbildern, eine wichtige Rolle spielen, wollen wir sie das Eigenlicht der Netzhaut nennen. Wenn man die Augen schliefst und das dunkle Gesichtsfeld aufmerksam betrachtet, wird man anfangs häufig noch Nachbilder der vorher gesehenen äufseren Objecte wahrnehmen (über deren Entstehung siehe unten § 24 und 25), später ein unregelmäfsiges schwach beleuchtetes Feld mit mannigfach sich wandelnden Lichtflecken, die häufig Gefäfsverästelungen oder ausgestreuten Moosstielchen und Blättern ähnlich sind, und bei manchen Beobachtern auch in Phantasmen übergehen. Eine ziemlich häufige Form dieser Lichterscheinungen schein
202 die zu sein, welche GOETHE[3] wandelnde Nebelstreifen nennt. PURKINJE beschreibt sie als „breite mehr oder weniger gekrümmte Bänder mit zwischenliegenden schwarzen Intervallen, die entweder als concentrische Kreise gegen den Mittelpunkt des Sehfeldes sich bewegen, und dort sich verlieren, oder als wandelnde Bögen an ihm sich brechen, oder als krumme Radien um ih im Kreise sich bewegen. Ihre Bewegung ist langsam, so dafs es gewöhnlic acht Secunden braucht, bis ein solches Band den Weg vollendet und völli verschwunden ist“. Ich selbst sehe sie meist wie zwei Systeme kreisförmige Wellen, die langsam gegen ihre Mittelpunkte zu beiden Seiten des Gesicht punktes zusammenlaufen. Die Lage der Mittelpunkte scheint mir den Ein trittsstellen der beiden Sehnerven zu entsprechen; der Rhythmus fällt m dem der Respirationsbewegungen zusammen. PURKINJE hatte ein schwächere Auge und sah nur mit dem rechten Auge ein solches System von Nebe streifen. Übrigens wird auch der Grund des Gesichtsfeldes, auf dem sic diese Erscheinungen entwerfen, nie ganz dunkel, man sieht im Gegenthei abwechselnde Verfinsterungen und Aufhellungen des Grundes, die oft m den Athemzügen in gleichem Rythmus geschehen (J. MÜLLER[4], ich selbst So bringt auch jede Bewegung der Augen oder Augenlider, jede Veränderu der Accommodation Veränderungen des Lichtstaubes hervor. Auffallend sin diese Gestalten besonders, wenn man in einem unbekannten ganz dunke Raume, z. B. in einem dunkeln Treppenflur, den Weg tappend sucht, we

---

[1] Fälle dieser Art sind zusammengestellt in J. MÜLLER *Über phantastische Gesichtserscheinung* Coblenz 1826. S. 20.

[2] H. AUBERT, *Physiologie der Netzhaut.* S. 335.

[3] GOETHE, *Farbenlehre.* Abth. I. § 96.

[4] J. MÜLLER, *Phantastische Gesichtserscheinungen.* S. 16.

die sich dann an die Stelle der wirklichen Objecte stellen. Dabei bemerkt
Purkinje, dafs jede unvermuthete Berührung, jede unsichere Bewegung
momentane Oscillationen des Auges hervorruft, die von zarten Lichtwölkchen
und anderen Lichtgebilden begleitet sind, welche Veranlassung zu manchen
Gespenstergeschichten gegeben haben mögen. Aubert[1] erwähnt plötzlich *n*
auftretende sehr helle Punkte des Sehfeldes, und helle, langsam bewegte
Zickzacklinien.

Nach körperlicher Anstrengung und Erhitzung sah Purkinje[2] im dun- *202*
keln Gesichtsfelde ein mattes Licht wallen und flackern, wie die auf einer
horizontalen Fläche verlöschende Flamme von ausgegossenem Weingeiste.
Bei schärferer Betrachtung sah er darin unzählige, äufserst kleine lichte
Pünktchen, die sich lebhaft durch einander bewegen, und lichte Spuren
ihrer Bewegung hinter sich lassen. Eine ähnliche Erscheinung trat ein,
wenn er bei geschlossenem rechten Auge das schwache linke zum Sehen
anstrengte.

Wichtig ist noch die Erfahrung, dafs auch bei Leuten, deren Auge
durch Operation entfernt, oder deren Sehnerven und Augen desorganisirt
und functionsunfähig geworden waren, subjective Lichterscheinungen vorge-
kommen sind[3]. Aus diesen Erfahrungen geht hervor, dafs nicht blos die
Netzhaut, sondern auch der Stamm oder die Wurzeln des Sehnerven im
Gehirn fähig sind in Folge von Reizungen Lichtempfindung zu erzeugen.

Endlich sind die elektrischen Ströme ein mächtiges Mittel, den Seh-
nervenapparat, wie die übrigen Nerven zu erregen. Während in der Regel
die motorischen Nerven nur in den Augenblicken Zuckung bewirken, wo die
Stärke des sie durchfliefsenden elektrischen Stromes einer schnellen Stei- *203*
gerung oder Abnahme ausgesetzt ist, werden in den Sinnesnerven nicht
nur durch Stromesschwankungen, sondern auch durch einen Strom von
gleichmäfsig anhaltender Stärke Empfindungen hervorgerufen, deren Qualität
im letzteren Falle von der Stromesrichtung abhängt.

Wenn der Sehnerv durch Stromesschwankungen gereizt wird, ent-
stehen starke Lichtblitze, die das ganze Gesichtsfeld überziehen. Man kann
dieselben sowohl durch Entladungen von Leydener Flaschen als von galva-
nischen Säulen erzielen, wenn man die Elektricität so durch den Körper
leitet, dafs hinreichend starke Zweige der Strömung durch den Sehnerven
möglichst parallel seinen Fasern gehen. Man legt also zweckmäfsig den
einen Zuleiter an die Stirn oder auf die geschlossenen Augenlider, den an-
deren in den Nacken, oder wenn man bei hinreichend kräftigen Apparaten
einen grofsen Widerstand nicht zu scheuen hat, nimmt man ihn in die Hand.
Um den Schmerz in der Haut zu mildern, ist es vortheilhaft, die Zuleiter,
welche die Form von Platten oder Cylindern haben können, mit nassen

---

[1] H. Aubert, *Physiologie der Netzhaut.* S. 334.

[2] J. H. Purkinje, *Beobachtungen und Versuche u. s. w.* I. 63, 134. II. 115.

[3] Beispiele bei J. Müller, *Phantastische Gesichtserscheinungen.* S. 30. — A. v. Humboldt, *Gereizte Muskel- und Nervenfaser.* Th. II. S. 444. — Lincke, *de fungo medullari.* Lips. 1834.

Pappscheiben zu bedecken und die zu berührende Hautstelle einige Zeit vorher schon anzufeuchten. Mit den Schlägen von Leydener Flaschen sind bisher wenig hierher gehörige Versuche angestellt worden, auch ist grofse Vorsicht wegen der Nähe des Gehirns nothwendig, da FRANKLIN und WILCKE[1] beobachtet haben, dafs durch den Kopf geleitete Schläge ein bewufstloses Zusammenstürzen zur Folge haben können. LE ROY[2] liefs den Entladungsschlag auf einen am Staar erblindeten jungen Mann wirken, indem er dessen Kopf und rechtes Bein mit einem Messingdrahte umwand und durch die Enden der Drähte eine Leydener Flasche entlud. Bei jeder Entladung glaubte der Patient eine Flamme sehr schnell von oben nach unten vorbeigehen zu sehen, und hörte einen Knall wie von grobem Geschütze. Wenn LE ROY den Schlag durch den Kopf des Blinden allein leitete, indem er über den Augen und am Hinterkopfe Metallplatten befestigte, die mit den Belegungen einer Flasche verbunden wurden, so sah der Kranke Phantasmen, einzelne Personen, in Reihe gestellte Volkshaufen u. s. w.

Reicher sind die Erfahrungen über die Wirkungen der galvanischen Ströme. Will man nur die Lichtblitze wahrnehmen, die durch Schliefsung oder Unterbrechung des Stromes entstehen, so genügen schon wenige Zinkkupferelemente, bei reizbaren Augen sogar schon ein einfaches Plattenpaar. Wenn z. B. ein Stück Zink an die befeuchteten Lider des einen, Silber an die des anderen Auges gelegt wird, und man die beiden Metalle in Berührung bringt, so erscheint im Momente der Berührung und dann wieder im Momente der Trennung ein Blitz. Belehrender ist der Versuch, wenn man das eine Metall an ein Auge legt, das andere in den Mund nimmt, weil dabei zugleich die Abhängigkeit der Stärke des Blitzes von der Stromrichtung erkannt werden kann. Der Blitz bei Schliefsung der Kette ist nach den Beobachtungen von PFAFF stärker, wenn man das positive Metall (Zink) an
204 das Auge, das negative (Silber) in den Mund bringt, wobei also der Sehnerv von der positiven Elektricität in aufsteigender Richtung durchflossen wird. Ich bemerke hierbei, dafs mir selbst die Versuche mit der einfachen Kette, wahrscheinlich wegen zu geringer Reizbarkeit meines Auges, nie gelungen sind. Dagegen sind die Lichtblitze sehr glänzend, wenn man eine kleine galvanische Säule von etwa zwölf Elementen benutzt. Wählt man eine Batterie von constanter Stromesstärke, z. B. von DANIELL'schen Elementen, so findet man, dafs der Schliefsungsblitz bei aufsteigender Stromesrichtung, der Öffnungsblitz bei absteigender stärker ist. Ähnliche Unterschiede der Wirkung je nach der Richtung des Stroms sind auch für die Muskelnerven bekannt, sie sind dort aber auch von der Stärke des angewendeten Stroms abhängig.

Um die *dauernde Wirkung eines gleichmäfsig anhaltenden Stroms* wahrzunehmen, brauchen wohl die meisten Augen eine kleine Säule, obgleich RITTER auch diese mit der einfachen Kette wahrgenommen hat.

---

1 B. FRANKLIN, *Briefe über Elektricität.* Leipzig 1785. S. 312.

2 LE ROY, *Mém. de mathém. de l'Acad. de France.* 1755. p. 86—92.

m die Blendung des Auges durch Lichtblitze und das unangenehme Muskel-
ucken bei Öffnung und Schliefsung des Stroms zu vermeiden, finde ich es
ortheilhaft, am Rande des Tisches, neben welchen sich der Experimentirende
insetzt, zwei mit Pappe, die mit Salzwasser getränkt ist, umwickelte Metall-
ylinder hinzulegen, die mit den beiden Polen einer DANIELL'schen Batterie
on 12 bis 24 Elementen verbunden sind. Man stützt zuerst die Stirne fest
uf einen der Cylinder und berührt dann mit der Hand den anderen, wobei
an durch langsames Anlegen der Hand erreichen kann, dafs die Wirkungen
er Stromesschwankung sehr gering sind, dann nach Belieben wieder öffnen
der schliefsen kann. Die Stromesrichtung läfst sich wechseln, indem man
ie Stirn bald auf den einen, bald auf den anderen Cylinder legt. Das Auge
t hierbei auch keinem Drucke ausgesetzt, worauf wohl zu achten ist.

Wenn ein schwacher aufsteigender Strom durch den Sehnerven geleitet
ird, wird das dunkle Gesichtsfeld der geschlossenen Augen heller als vor-
er und nimmt eine weifslich violette Farbe an. In dem erhellten Felde
rscheint in den ersten Augenblicken die Eintrittsstelle des Sehnerven als
ine dunkle Kreisscheibe. Die Erhellung nimmt schnell an Intensität ab,
nd verschwindet ganz bei der Unterbrechung des Stroms, die man bei lang-
amer Lösung der Hand von dem zweiten Cylinder ohne Lichtblitz ausführen
ann. Dafür tritt nun, im Gegensatz zu dem vorausgegangenen Blau, mit
ler Verdunkelung des Gesichtsfeldes auch eine röthlich gelbe Färbung des
Eigenlichts der Netzhaut ein,

Bei der Schliefsung der entgegengesetzten, absteigenden Stromesrichtung
ritt der auffallende Erfolg ein, dafs das nur mit dem Eigenlicht der Netz-
aut gefüllte Gesichtsfeld im Allgemeinen dunkler wird als vorher, und sich
twas röthlich gelb färbt; nur die Eintrittsstelle des Sehnerven zeichnet sich
ls eine helle blaue Kreisscheibe auf dem dunkeln Grunde ab, von welcher
Scheibe häufig auch nur die der Mitte des Gesichtsfeldes zugekehrte Hälfte
erscheint. Bei Unterbrechung dieser Stromesrichtung wird das Gesichtsfeld
vieder heller und zwar bläulichweifs beleuchtet und der Sehnerveneintritt
erscheint dunkel.

AUBERT[1] sieht bei aufsteigendem Strome und nach Unterbrechung
les absteigenden Stroms die Eintrittsstellen der Sehnerven als gelbe,
helle Ringe, in der Mitte aber dunkel; bei absteigendem Strome und nach
Unterbrechung des aufsteigenden bezeichnet er die Farbe des dunkleren
Feldes als grünlich; die Sehnerven erscheinen als gelbe Scheiben.

Bewegungen des Auges bringen nach demselben Beobachter an der Pe-
ripherie des Sehfeldes grofse blitzartige Helligkeit (wohl wegen der Stromes-
schwankungen) hervor.

Bei stärkeren Strömen von 100 bis 200 Zink-Kupferplatten hat RITTER *205*
eine Umkehr der Färbung gesehen, während die Vermehrung oder Vermin-
derung der Helligkeit dieselbe blieb, wie bei schwachen Strömen. Starke
aufsteigende Ströme erregten ihm also die Empfindung von lichtstarkem

[1] H. AUBERT, *Physiol. der Netzhaut.* S. 345.

Grün, noch stärkere von lichtstarkem Roth, starke absteigende von lichtschwachem Blau. Nach der Unterbrechung des Stroms sah er im ersten Falle zuerst Blau, was schnell in das zurückbleibende Roth der schwachen Ströme umschlug. Nach der Unterbrechung des starken absteigenden Stroms sah er dagegen im ersten Augenblicke Roth, was schnell in das gewöhnliche
206 Blau umschlug. Ich selbst fand, dafs bei stärkeren Strömen[1] ein wildes Durcheinanderwogen von Farben entstand, in welchem ich keine Regel zu entdecken vermochte.

Ritter giebt auch noch an, dafs das aufsteigend durchströmte Auge die äufseren Gegenstände nicht blos undeutlicher, sondern auch verkleinert sehe. Das läfst vermuthen, dafs er die Augen für die Nähe accommodirt habe. Man kann sich unter Einflufs des heftigen Hautschmerzes, den die einströmende Elektricität erregt, kaum erwehren, die benachbarten Muskeln zu spannen, die Stirn zu runzeln, die Augenlider zusammenzukneifen. Die meisten Personen sind geneigt, bei jeder Anstrengung des Auges oder seiner Nachbartheile für die Nähe zu accommodiren, und das hat dann auch einen gewissen Einflufs auf die Vorstellung von der Gröfse der gesehenen Dinge. E. du Bois-Reymond[2] macht darauf aufmerksam, dafs Zusammenziehung der Pupille bei elektrischer Durchströmung des Auges bemerkt sei, wobei wohl auch eine Veränderung des Accommodationsapparates eintreten könne. Bei absteigendem Strome giebt Ritter umgekehrt an, die Gegenstände deutlicher und gröfser gesehen zu haben.

n Die Undeutlichkeit schwach sichtbarer äufserer Objecte bei aufsteigenden Strömen scheint sich zunächst aus dem sich darüber deckenden subjectiven Lichtscheine zu erklären.

D i e e l e k t r i s c h e R e i z u n g l ä f s t s i c h a u c h a u f e i n z e l n e T h e i l e d e r N e t z h a u t b e s c h r ä n k e n, wenn sie auch nicht örtlich scharf begrenzt werden kann. Diese Erscheinungen sind in ihren wesentlichen Zügen schon von Purkinje beschrieben worden. Ich selbst habe es nützlich gefunden, den einen Zuleiter aus einem dünnen Cylinder von Badeschwamm zu bilden, der um ein Kupferstäbchen mit isolirendem Handgriff festgebunden, und reichlich mit Salzwasser getränkt ist. Die andere Elektrode legt man in den Nacken oder fafst sie mit der linken Hand, und berührt mit dem Schwamm die Haut neben dem äufseren oder inneren Augenwinkel, während man unter den geschlossenen Augenlidern das Auge hin und herbewegen kann.

Ist der Schwamm die positive Elektrode, so dringt der elektrische Strom auf der ihm zugewendeten Seite des Auges durch die Netzhaut von aufsen nach innen, auf der abgewendeten von innen nach aufsen; umgekehrt wenn der Schwamm negative Elektricität zuleitet. Dabei zeigt sich, dafs die vo

---

[1] Der Strom von 24 Daniell'schen Elementen wurde durch breite, mit nasser Pappe belegte Metallplatten in Stirn und Nacken eingeleitet. Da der Widerstand in diesem Kreise sehr viel geringer war als bei Ritter's Anordnung, welcher eine Säule von grofsem Widerstande, und auch noch seinen Arm in dem Kreise hatte, so läfst sich das Verhältnifs der Stromstärke in meinen und Ritter's Versuchen nicht wohl bestimmen.

[2] E. du Bois-Reymond, *Untersuchungen über thierische Elektricität.* Berlin 1848. Bd. I. S. 353.

außen nach innen durchflossene Hälfte der Netzhaut Dunkel empfindet, die von innen nach außen durchflossene dagegen Helligkeit. Zu beachten ist, daß diese Empfindungen vom Beobachter immer in die gegenüberliegende Hälfte des Gesichtsfeldes verlegt werden, als wäre diese elektrische Helligkeit von außen kommendes Licht.

Unter dieselbe Regel fallen auch die Erscheinungen, welche man beobachtet, wenn man die Elektrode vorn auf die von den Lidern bedeckte Hornhaut setzt. Dann giebt eine positive Elektrode Strom von innen nach außen durch die ganze Netzhaut, und diese sieht hell.

Die Eintrittsstelle des Sehnerven zeigt bei mir immer den entgegengesetzten Zustand des Feldes, in dem sie liegt. Ihre starke Sehnenscheide könnte als schlecht leitende Masse in Betracht kommen, und bewirken, daß die dicht davor liegenden Nervenelemente, die das Mark des eintretenden Nerven unmittelbar umgeben, vor der Durchströmung verhältnißmäßig geschützt sind. Deren Zustand aber pflegen wir (s. unten § 28) auf die ganze Ausdehnung des Sehnervenquerschnitts zu übertragen.

Wenn man nun, während das Auge von der Seite her durchströmt wird, den Blick unter den geschlossenen Lidern gegen die Grenze des hellen und dunkeln Feldes richtet, so erscheinen rechts und links neben dem Fixationspunkte zwei querovale Felder, von denen das in die helle Hälfte des Sehfeldes hineinragende dunkel, das in die dunkle hineinragende hell erscheint. Ihrer Größe nach erscheinen sie der Ausdehnung des gelben Flecks zu entsprechen. An dieser Stelle verlaufen die Faserzüge der Netzhaut von den Zapfen aus radial divergirend gegen die dazu gehörigen Ganglienzellen, und es werden die elektrischen Ströme bei der angegebenen Richtung des Blicks im gelben Fleck parallel der Fläche der Netzhaut fließen müssen.

Tritt nun positive Elektricität auf der Schläfenseite in das Auge ein, so ist der peripherische Theil der Netzhaut von außen nach innen, d. h. von den Zapfen zu den Ganglienzellen durchströmt, und sieht dunkel. Die nach der Schläfenseite gerichteten Faserzüge des gelben Flecks aber werden von den Ganglienzellen zu den Zapfen hin durchströmt, und sehen hell. In diesem Sinne kann man die beobachteten Erscheinungen zusammenbegreifen in die Regel: Elektrische constante Durchströmung der Netzhaut in der Richtung von den Zapfen zu den zugehörigen Ganglienzellen giebt die Empfindung von Dunkel; die entgegengesetzte Durchströmung giebt die Empfindung von Hell.

Es zeigen nun auch die Muskelnerven des thierischen Körpers außer den schon erwähnten Erscheinungen der Reizung durch Stromesschwankungen einen Einfluß der constanten Ströme auf die Reizempfänglichkeit. Durch schwache Ströme, wie diejenigen immer sind, die bei den beschriebenen Versuchen die Netzhaut treffen, wird nach den von PFLÜGER[1] aufgestellten Gesetzen die Reizbarkeit des Nerven an der Strecke gesteigert, wo die

[1] W. PFLÜGER, *Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus.* Berlin 1859.

positive Elektricität hinfliefst, an der Strecke vermindert, wo jene Elektricität herkommt. Dies angewendet auf die Fasern der mittleren Schichten der Netzhaut würde ergeben, dafs die Stelle, deren vermehrte oder verminderte Erregbarkeit sich in den Lichterscheinungen bei elektrischer Durchströmung geltend macht, in den hintersten Schichten der Netzhaut zu suchen ist, was mit den Erfahrungen über die Erregung durch Licht, wie der folgende Paragraph zeigen wird, zusammenstimmt.

Elektrotonischer Zustand des Sehnerven oder der Sehnervenausbreitung macht sich hierbei also nicht geltend. Übrigens fragt es sich, ob sich derselbe durch die Schicht der Ganglienzellen hindurch würde fortpflanzen können. Wir kennen bisher nur seine Ausbreitung in Nervenfasern.

207 Die Lehre von den Gesichtsempfindungen fiel in älterer Zeit noch ganz der Philosophie anheim, so lange positive Kenntnisse darüber fehlten. Zunächst mufste eingesehen werden, dafs die Empfindungen nur Wirkungen der Aufsendinge auf unseren Körper seien, und dafs die Wahrnehmung erst durch psychische Processe aus der Empfindung gebildet würde. Mit dieser Einsicht ringt die griechische Philosophie[1]. Sie beginnt mit naiven Voraussetzungen über die Möglichkeiten, wie Bilder, die den Gegenständen entsprächen, in die Seele kommen sollten. DEMOKRIT und EPIKUR lassen solche Bilder sich von den Gegenständen loslösen und in das Auge fliefsen. EMPEDOKLES läfst Strahlen sowohl vom Lichte wie vom Auge nach den Gegenständen fliefsen, und mit letzteren die Gegenstände gleichsam betasten. PLATO scheint zu schwanken. Im Timaeus schliefst er sich dieser Vorstellungsweise des EMPEDOKLES an; er erklärt die vom Auge ausgehenden Strahlen für ähnlich dem Lichte, aber nicht brennend, und läfst das Sehen nur zu Stande kommen, wo das innere Licht herausgehend an den Gegenständen das verwandte äufsere Licht trifft. Im Theaetet dagegen nähert er sich durch Untersuchungen über die geistige Thätigkeit bei den Wahrnehmungen schon dem reiferen Standpunkte des ARISTOTELES.

Bei letzterem[2] findet sich eine feine psychologische Untersuchung über die Mitwirkung geistiger Thätigkeit in den Sinneswahrnehmungen, das Physikalische und Physiologische, die Empfindung ist deutlich unterschieden von dem Psychischen; die Wahrnehmung äufserer Objecte beruht nicht mehr auf einer Art feiner Fühlfäden des Auges wie die Gesichtsnerven des EMPEDOKLES, sondern auf Urtheil. Das Physikalische an seinen Vorstellungen ist freilich sehr unentwickelt, doch könnte man in den Grundzügen desselben Spuren der Undulationstheorie finden. Denn das Licht ist bei ihm nichts Körperliches, sondern eine Thätigkeit (*ἐνέργεια*) des zwischen den Körpern enthaltenen Durchsichtigen, welches im Zustande der Ruhe Dunkelheit ist. Doch erhebt er sich noch nicht zu der Vorstellung, dafs die Wirkung des Lichtes auf das Auge nicht nothwendig dem erregenden Lichte gleichartig zu sein braucht. Er sucht vielmehr diese Gleichartigkeit dadurch zu begründen, dafs auch das Auge Durchsichtiges enthalte, welches in dieselbe Art von Thätigkeit wie das äufsere Durchsichtige treten kann.

Im Mittelalter blieben die eigentlichen und entscheidenden Fortschritte, welche ARISTOTELES in der Theorie des Sehens gemacht hatte, unbeachtet, erst BACO VON VERULAM und seine Nachfolger nehmen diesen Faden wieder auf, discutiren scharf die Abhängigkeit der Vorstellungen von den Empfindungen, bis KANT in seiner „Kritik der
n reinen Vernunft" den Abschlufs ihrer Theorie liefert. Vieles Richtige, scharf ausgesprochen, findet sich auch bei J. G. FICHTE in den „Thatsachen des Bewufstseins", namentlich die

---

[1] W. WUNDT, *Zur Geschichte der Theorie des Sehens*, *Henle und Pfeuffers Zeitschrift für rationelle Medicin.* 1859.

[2] ARISTOTELES, *De sensibus*, *de anima lib.* II. c. 5—8 und *de coloribus.*

Zusammenfassung der Empfindungen in Qualitätenkreise, den fünf Sinnen entsprechend. Was in SCHOPENHAUER's einschlägigen Erörterungen richtig ist, wird meist auf diese Quelle zurückzuführen sein.

In derselben Zeit waren die Naturforscher meist nur mit dem seit KEPPLER sich schnell entwickelnden physikalischen Theile der Theorie des Sehens beschäftigt. Durch HALLER wurde zunächst im Allgemeinen die Lehre von der Reizbarkeit der Nerven festgestellt; dem entsprechend beschreibt dieser auch ganz richtig und klar das Verhältnifs des Lichtes zur Empfindung, dieser zur Wahrnehmung[1]. Aber es fehlte noch die genauere Kenntnifs der durch andere Reizmittel entstehenden Erregungen des Auges, oder wenigstens, was man davon kannte, war vereinzelt, und wurde deshalb nur als Curiosum betrachtet. Das Verdienst, die Aufmerksamkeit der deutschen Naturforscher auf die Wichtigkeit dieser Kenntnifs hingeleitet zu haben, gebührt GOETHE in seiner Farbenlehre, wenn ihm auch der Hauptzweck dieses Buches, eine Reform der physikalischen Lichtlehre, die sich der unmittelbaren sinnlichen Anschauung besser anschlösse, zu erzwingen, fehlschlug. Darauf folgen nun die reichen Beobachtungen über Erregungen der Empfindungsnerven von RITTER und den andern Galvanikern, namentlich über die Beobachtungen von PURKINJE, so dafs im Jahre 1826 J. MÜLLER die Hauptsätze dieses Gebiets hinstellen konnte in seiner Lehre von den specifischen Sinnesenergien, wie er sie in seinem Werke über die vergleichende Physiologie des Gesichtssinns zuerst vortrug, und wie sie im Anfange dieses Paragraphen dargestellt ist. Dies Werk und das von PURKINJE stehen in ausgesprochener Beziehung zu GOETHE's Farbenlehre, wenn auch J. MÜLLER deren physikalische Sätze später aufgegeben hat. Das MÜLLER'sche Gesetz von den specifischen Energien war ein Fortschritt von der aufserordentlichsten Wichtigkeit für die ganze Lehre von den Sinneswahrnehmungen, ist seitdem das wissenschaftliche Fundament dieser Lehre geworden, und ist in gewissem Sinne die empirische Ausführung der theoretischen Darstellung KANT's von der Natur des menschlichen Erkenntnifsvermögens. 207 208

Die Druckbilder kannte schon ARISTOTELES. NEWTON[2] giebt die hypothetische Erklärung, dafs die mechanische Erschütterung der Netzhaut eine ähnliche Bewegung in ihr errege, wie die auf diese Haut stofsenden Lichtstrahlen. Diese Bewegung der Netzhaut betrachtet er als Ursache der Lichtempfindung. Die Meinung, dafs bei den Druckbildern sowohl, als auch bei anderen Gelegenheiten im Auge sich objectives Licht entwickele, hat übrigens bis in neuere Zeit ihre Anhänger gehabt, wovon der oben erwähnte gerichtsärztliche Fall ein Beispiel giebt, in welchem der begutachtende Medicinalrath SEILER die Möglichkeit eines solchen Ereignisses glaubte zulassen zu müssen. Es hat aber niemals ein zweiter Beobachter objectiv das so entwickelte Licht wahrnehmen können. Um diese Meinung wahrscheinlich zu machen stützte man sich theils auf Fälle von Menschen, die in der Dunkelheit, d. h. bei sehr wenig Licht, hatten sehen können, wie Kaiser TIBERIUS, CARDANUS, KASPAR HAUSER, theils auf das sogenannte Leuchten der Thieraugen, der albinotischen oder sonst krankhaft verbildeten Menschenaugen, welches nur auf Reflexion des Lichts beruht, theils auf stark entwickelte Nachbilder, die des Abends nach verlöschtem Licht bei älteren Männern zuweilen lange zurückzubleiben scheinen; sie sollten die Möglichkeit der Lichtentwickelung im Auge beweisen. Genauere Beschreibungen der Druckbilder sind in späterer Zeit von PURKINJE, SERRES D'UZÈS gegeben worden. Der Gebrauch, den THOMAS YOUNG in der Accommodationslehre davon machte, ist oben Seite 149 erwähnt.

Den Öffnungs- und Schliefsungsblitz bei elektrischer Durchströmung beobachtete schon VOLTA; RITTER nahm selbst mit der einfachen Kette die dauernden Lichtwirkungen wahr, später gab namentlich PURKINJE eine ausführliche Beschreibung.

---

[1] A. v. HALLER, *Elem. Physiol.* Tom. V. lib. 16 u. 17.
[2] J. NEWTON, *Optice*, am Schlufs Quaestio XVI.

209 § 18. Von der Reizung durch Licht.

Wir haben jetzt das objective Licht, die Ätherschwingungen, als Erregungsmittel des Sehnervenapparates zu betrachten. Die Ätherschwingungen gehören nicht zu den allgemeinen Reizmitteln der Nerven, die wie Elektrizität und mechanische Misshandlung jede Stelle einer jeden Nervenfaser erregen könnten; und es läfst sich nachweisen, dafs die Nervenfasern des Sehnerven innerhalb des Stammes dieses Nerven und innerhalb der Netzhaut von ihnen ebenso wenig wie die motorischen und sensiblen Nervenfäden der übrigen Nerven erregt werden. Es sind vielmehr gewisse Hülfsapparate nothwendig, die an den Enden der Opticusfasern in der Netzhaut liegen, in denen das objective Licht den Anstofs zu einer Nervenerregung zu geben im Stande ist.

Wir wollen hier zunächst nachweisen, dafs die Nervenfasern im Stamme des Sehnerven durch objectives Licht nicht erregt werden. Die Masse dieser Fasern liegt an der Stelle, wo der Sehnerv durch die Sclerotica in das Auge eintritt, frei gegen die durchsichtigen Mittel des Auges gekehrt, sie ist nicht von schwarzem Pigment bedeckt, und zugleich durchscheinend genug, dafs das Licht, was auf sie fällt, merklich in die Masse des Nerven eindringen kann. Man erkennt dies bei den Untersuchungen mit dem Augenspiegel daran, dafs man häufig noch Windungen der Centralgefäfse innerhalb des Sehnerven erkennen kann, die von der Nervenmasse ganz überdeckt
210 sind. Wenn dergleichen Gefäfswindungen im Innern der Nervensubstanz erkannt werden sollen, mufs Licht bis zu ihnen hindringen und von ihnen aus wieder bis zum Auge des Beobachters gelangen können. Es ist also kein Hindernifs für das in das Auge fallende Licht vorhanden, bis zu einer gewissen Tiefe in die Sehnervensubstanz einzudringen. Aber dieses Licht, was auf die Eintrittsstelle des Sehnerven fällt, wird nicht empfunden.



Fig. 117.

Man schliefse das linke Auge und fixire mit dem rechten das weifse Kreuzchen in *Fig. 117*, alsdann bringe man das Buch bei der gewöhnlichen horizontalen Richtung der Zeilen in eine Entfernung von etwa einem Fufs

vom Auge, so wird man finden, dafs es hier eine gewisse Stellung giebt, wo der weifse Kreis gänzlich verschwindet und der schwarze Grund ohne Lücke erscheint. Damit der Versuch gelinge, achte man aber sorgfältig darauf, dafs man den Blick fest auf das Kreuzchen hefte und nicht seitwärts blicke. Nähert man das Buch mehr oder entfernt es weiter, so kommt der weifse Kreis wieder zum Vorschein, und wird im indirecten Sehen deutlich wahrgenommen; ebenso wenn man das Buch schief hält, so dafs der weifse Kreis etwas höher oder tiefer zu stehen kommt. Wie der weifse Kreis, verschwinden alle anderen Gegenstände, weifse, schwarze, farbige, welche nicht gröfser sind als der Kreis, wenn man sie auf denselben legt, und wie vorher verfährt. Man erkennt daraus, dafs es im Gesichtsfelde eines jeden einzelnen Auges eine Stelle giebt, in welcher nichts erkannt wird, und dafs es also in der Fläche der Netzhaut eine entsprechende Stelle giebt, welche die auf sie fallenden Bilder nicht wahrnimmt. Man nennt diese Stelle den blinden Fleck. Da die blinde Stelle im Gesichtsfelde des rechten Auges nach rechts vom Fixationspunkte, in dem des linken Auges links davon liegt, so mufs der blinde Fleck der Netzhaut vom gelben Fleck aus nach der Nasenseite herüber liegen, in welcher Gegend sich die Eintrittsstelle des Sehnerven befindet.

Dafs der blinde Fleck wirklich mit der Eintrittsstelle des Sehnerven identisch sei, hatte man schon früher durch Messung seiner scheinbaren Gröfse und seines scheinbaren Abstandes vom Fixationspunkte des Auges nachgewiesen. Einen noch directeren Beweis hat Donders[1] mittels seines Augenspiegels gegeben. Er warf mit diesem Instrumente das Licht einer kleinen entfernt stehenden Flamme in das Auge des Beobachteten, und liefs dieses so wenden, dafs das Flammenbildchen auf die Eintrittsstelle des Seh- *211*
nerven fiel. Auf dieser Stelle ist das Flammenbildchen nicht scharf gezeichnet, und es erscheint gleichzeitig die ganze Eintrittsfläche des Sehnerven, obgleich mindestens 20 mal gröfser als das Flammenbildchen, ziemlich hell, was sich aus der durchscheinenden Beschaffenheit der Nervenmasse erklärt. Auf der Netzhaut selbst neben dem Eintritt des Sehnerven bemerkte er kaum eine Spur von Licht, was entweder in den durchsichtigen Mitteln des Auges zerstreut sein konnte, oder von der hell erleuchteten Fläche des Sehnerven seitlich reflectirt war. So lange das Lichtbildchen ganz auf den Eintritt des Sehnerven fiel, hatte der Beobachtete keine Lichtempfindung. Einige meinten einen sehr schwachen Schimmer wahrzunehmen, der wohl durch die erwähnte schwache Erleuchtung der Netzhaut veranlafst sein mochte. Durch kleine Bewegungen des Spiegels konnte er das Lichtbildchen von einer Seite nach der anderen über die Eintrittsstelle des Sehnerven wandern lassen, und niemals trat Lichtwahrnehmung ein, ehe nicht ein Theil der Flamme deutlich die Grenze überschritt, und so ein Stelle erreichte, wo

---

[1] F. C. Donders, *Onderzoekingen gedaan in het Physiol. Labor. d. Utrechtsche Hoogeschool.* VI. 134.

die verschiedenen Schichten der Netzhaut schon vorhanden sind. Hieraus folgt, dafs der blinde Fleck der ganzen Eintrittsstelle des Sehnerven, und namentlich nicht etwa blos den eintretenden Gefäfsen entspricht.

Denselben Versuch hat später Coccius[1] an dem eigenen Auge des Beobachters auszuführen gelehrt, wodurch er noch belehrender wird. Man braucht dazu einen durchbohrten Spiegel, plan oder convex, wie er in den Augenspiegeln üblich ist, und hält diesen nahe vor das eigene Auge, während durch die Öffnung des Spiegels das Licht einer Lampe in das Auge fällt. Richtet man zunächst das Auge gerade nach dem Rand der Öffnung hin, so gelingt es leicht, das umgekehrte rothe Flammenbildchen auf der Netzhaut des eigenen Auges zu sehen, und indem man dann das Auge mehr und mehr einwärts dreht, während man das Flammenbildchen festzuhalten sucht, gelingt es endlich das Flammenbild auf die Eintrittsstelle des Sehnerven zu bringen und die beschriebenen Beobachtungen anzustellen. Für diesen Zweck ist es übrigens rathsam, die Flamme klein zu machen, oder weit zu entfernen, weil sonst die grofse Menge Licht, die in das Auge dringt, hinderlich ist. Man sieht dabei auch die Gefäfsstämme, hat aber natürlich immer nur ein sehr kleines Gesichtsfeld. Nimmt man eine gröfsere Flammenfläche, so wird das Auge zu sehr geblendet, als dafs man viel sehen könnte. Ist die Lichtmenge, welche auf die Eintrittsstelle des Sehnerven fällt, bedeutend, so nimmt das Auge allerdings einen schwachen Lichtschein wahr, aber, wie wir aus diesen Versuchen schliefsen müssen, nur deshalb, weil ein Theil des Lichtes sich auf die anstofsenden Theile der Netzhaut ausbreitet. Zuweilen entsteht auch bei solchen Versuchen ein rother Lichtschimmer im Auge, wohl wenn ein Gefäfsstamm auf der Sehnervenfläche stark erleuchtet wird und Licht reflectirt. Dies beobachteten A. Fick und P. du Bois-Reymond, wenn sie das Sonnenbildchen einer Convexlinse als Object benutzten.

Die Form und scheinbare Gröfse des blinden Flecks im eigenen Gesichtsfelde kann man leicht in folgender Weise bestimmen. Man gebe dem Auge 8 bis 12
212 Zoll über einer weifsen Papierfläche einen festen Standpunkt, und zeichne zuerst auf dem Papier ein Kreuzzeichen als Fixationspunkt für das Auge. Dann führe man die in Tinte getauchte Spitze einer weifsen oder mindestens hell gefärbten Feder auf dem Papiere in die Projection des blinden Flecks hinein, so dafs die schwarze Spitze verschwindet, und schiebe sie dann von dessen Mittelpunkte aus nach einander in den verschiedenen Richtungen gegen die Peripherie des Flecks vor, und zeichne die Grenze auf, wo sie anfängt, sichtbar zu werden. In dieser Weise habe ich in *Fig. 118* den blinden Fleck meines rechten Auges, bezogen auf den Fixations-

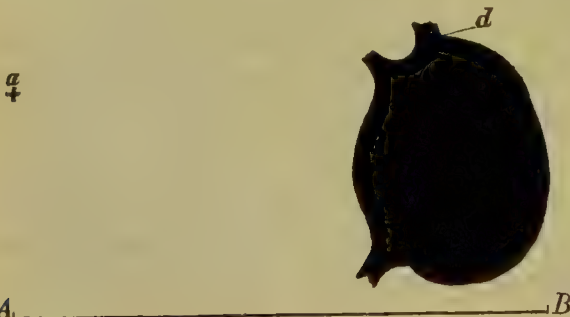


Fig. 118.

[1] A. Coccius, *Über Glaukom, Entzündung und die Autopsie mit d. Augenspiegel.* Leipzig 1859. S. 40 u. 52.

punkt a, dargestellt. AB ist der dritte Theil der zugehörigen Entfernung des Auges von der Papierfläche. Man sieht, dafs die Gestalt des Fleckes eine unregelmäfsige Ellipse ist, an der ich selbst, wie HUECK, die Anfänge von den stärkeren Gefäfsstämmen erkennen kann, welche austreten. Wenn man einen kleinen schwarzen Fleck auf das Papier macht, und nach einander verschiedene Gesichtspunkte fixirt, so findet man noch, dafs die Fortsetzungen der Gefäfse weit in das Feld der Netzhaut hinein blinde Stellen sind. Am leichtesten gelingt dies, wenn man nach COCCIUS sich die Richtung der Gefäfsstämme im eigenen Auge schon aufgesucht hat.

Bezeichnen wir die Entfernung des Auges vom Papier mit f, die Entfernung des zweiten Knotenpunkts von der Netzhaut, welche im Mittel 15 mm beträgt, mit F, den Durchmesser des blinden Flecks in unserer Zeichnung, oder irgend eine andere lineare Gröfse in der Zeichnung mit d, die entsprechende Gröfse auf der Netzhaut mit D, so haben wir

$$\frac{f}{F} = \frac{d}{D},$$

woraus wir D berechnen können. Will man sich bei einer solchen Messung von der Gröfse F, welche für das individuelle Auge nie ganz genau bestimmt werden kann, unabhängig machen, so mifst man besser den Gesichtswinkel, d. h. den Winkel zwischen den Richtungslinien (siehe S. 69), welche den verschiedenen Punkten der Zeichnung entsprechen. Wenn wir voraussetzen dürfen, die auf den Punkt a der *Fig. 118* gerichtete Gesichtslinie sei senkrecht zur Ebene der Zeichnung und die Entfernung ad mit β bezeichnen, den Gesichtswinkel, unter dem ad erscheint, mit α, so ist

$$\frac{\beta}{f} = \operatorname{tg} \alpha,$$

woraus α berechnet werden kann; ebenso ist der Gesichtswinkel zwischen a und jedem anderen Punkte der Zeichnung zu finden. Folgendes sind die Resultate, welche verschiedene Beobachter in dieser Weise erhalten haben:

1) Scheinbarer Abstand des Gesichtspunktes von dem ihm nächsten Theile des Randes des blinden Flecks: LISTING[1] 12° 37',5; HELMHOLTZ 12° 25'; TH. YOUNG 12° 56'.
2) Scheinbarer Abstand des entferntesten Theils des Randes: LISTING 18° 33',4; HELMHOLTZ 18° 55'; TH. YOUNG 16°,1'.
3) Scheinbarer Durchmesser des blinden Flecks in horizontaler Richtung: HANNOVER und THOMSEN[2] bei 22 Augen 3° 39' bis 9° 47', Mittel aller Messungen 6° 10', LISTING 5° 55',9; GRIFFIN[3] im Maximo 7° 31; HELMHOLTZ 6° 56'; TH. YOUNG, der nicht ganz zweckmäfsig zwei Lichter gebraucht hatte, um die Grenze des Flecks zu finden, 3° 5'. 213
4) Wahrer Durchmesser des blinden Flecks, mit LISTINGs Werth für $F = 15$ mm berechnet, in LISTINGs Auge $1^{mm},55$; HELMHOLTZ 1,81. HANNOVER und THOMSON im Mittel $1^{mm},116$. Eine Messung von E. H. WEBER des Durchmessers der Eintrittsstelle des Sehnerven in den Augen zweier Leichen ergab

---

[1] J. LISTING, *Berichte der Königl. sächs. Ges. der Wiss.* 1852. S. 149. Ebenda die Beobachtungen von E. H. WEBER.
[2] A. HANNOVER, *Bidrag til Oiets Anatomie.* Kjöbenhavn. 1850. Cap. VI. S. 61.
[3] GRIFFIN, *Contributions to the physiology of vision.* London, Medical Gazette. 1838 Mai. p. 230.

$2^{mm},10$ und $1^{mm},72$ (0,93 und 0,76 Par. Lin.). Der Abstand seiner Mitte von der Mitte des gelben Flecks war in dem einen Auge $3^{mm},8$ (1,69 Par. Lin.); derselbe, in LISTINGS Auge berechnet, $4^{mm},05$. Der gröfste und kleinste Durchmesser des Gefäfsstrangs in der Mitte des Nerven waren 0,313 und 0,139 Lin., der gröfste in dem anderen Auge 0,28 Lin.

Aus diesen Messungen konnte schon vor den Versuchen von DONDERS geschlossen werden, dafs die ganze Eintrittsstelle des Sehnerven unempfindlich gegen das Licht sei.

Um die scheinbare Gröfse des blinden Flecks im Gesichtsfelde noch anders zu bezeichnen, wollen wir anführen, dafs auf seinem Durchmesser neben einander 11 Vollmonde Platz haben würden, und dafs in ihm ein 6 bis 7 Fufs entferntes menschliches Gesicht verschwinden kann.

Dafs die Sehnervenfasern im Stamme des Sehnerven nicht durch Licht in Reizung versetzt werden können, geht aus den beschriebenen Erscheinungen des blinden Flecks hervor. Dafs auch ihre Fortsetzungen, welche von der Eintrittsstelle des Sehnerven über die vordere Fläche der Netzhaut hin ausstrahlen, gegen Licht unempfindlich sind, kann aus dem Umstande geschlossen werden, dafs wir begrenzte helle Stellen des Gesichtsfeldes auch wirklich begrenzt sehen. Wenn Licht auf irgend eine Stelle *A* der Netzhaut fällt, so trifft es hier nicht blofs diejenigen Nervenfasern, welche in *A* endigen, sondern auch solche, welche über *A* hinausgehen, und an den mehr peripherisch gelegenen Stellen der Netzhaut endigen. Da nun der Ort, an welchem eine Nervenfaser gereizt worden ist, in der Empfindung nicht unterschieden wird, so würde dadurch für die Empfindung derselbe Erfolg eintreten, als wäre Licht auf jene peripherischen Stellen der Netzhaut gefallen. Wir würden unter diesen Umständen von jedem erleuchteten Punkte einen Lichtschweif nach den Grenzen des Gesichtsfeldes sich hinziehen sehen, was nicht der Fall ist. Es können also auch die vor der Netzhaut ausgebreiteten Fasern des Sehnerven nicht durch objectives Licht reizbar sein.

Dafs dagegen die hinteren Schichten der Netzhaut gegen Licht empfindlich sind, geht daraus hervor, dafs man den Schatten der Netzhautgefäfse wahrnehmen kann (§ 15, S. 192). Die Netzhautgefäfse liegen in der Schicht der Sehnervenfasern, die feineren zum Theil auch noch in der unmittelbar dahinter liegenden Schicht der Nervenzellen (S. 31, *Fig. 16*, 2, 3) und in der fein granulirten Schicht (*Fig. 16*, 4). Aus den Bewegungen des Schattens dieser Gefäfse bei Bewegungen der Lichtquelle haben wir geschlossen, dafs die den Schatten empfindende Schicht, die Schicht, in welcher das den
214 Schatten begrenzende Licht Nervenerregung hervorruft, in geringer Entfernung hinter den Gefäfsen liegen müsse. Die Messungen von H. MÜLLER (S. 200) ergeben, dafs die Entfernung der Gefäfse von der Fläche, die ihren Schatten empfindet, zwischen 0,17 und 0,36 mm betragen mufs. Die Entfernung der Gefäfse von der hintersten Schicht der Netzhaut, der der Stäbchen und Zapfen (*Fig. 16*, 8, 9), beträgt nach demselben Beobachter 0,2 bis 0,3 mm, so dafs die empfindende Schicht jedenfalls eine der hintersten Schichten der

Netzhaut sein mufs, d. h. die Schicht der Zapfen und Stäbchen, oder die äufsere Körnerschicht. Da an der Stelle des deutlichsten Sehens, in der centralen Grube des gelben Flecks nach allen neueren Beobachtungen nur n Nervenzellen und Zapfen mit Zapfenkörnern vorkommen, so folgt sicher, dafs die Zapfen verbunden mit den Zapfenkörnern genügen, um bei Lichteinwirkung Empfindung zu erregen. Bei der ganz analogen anatomischen Bildung der Stäbchen ist es höchst wahrscheinlich, dafs auch diese die genannte Fähigkeit besitzen, wie schon H. Müller und Koelliker ausgesprochen haben. Indessen müssen sie bei der Localisation der Empfindungen eine ganz andere Rolle spielen, da trotz ihrer gröfseren Feinheit und Anzahl dort, wo sie überwiegend vorkommen, in den peripherischen Theilen der Netzhaut, das Unterscheidungsvermögen für nah benachbarte Eindrücke im Gegentheil unvollkommener ist als in der Netzhautgrube.

Da die Untersuchung über die *Feinheit der Wahrnehmung von Ortsunterschieden* beim Sehen wesentlich mit der Frage zusammenhängt, welche Elemente der Netzhaut lichtempfindlich sind, (das heifst hier immer: bei Lichteinwirkung Empfindung erregen) und wie sie mit den Nervenfasern zusammenhängen, so wenden wir uns zunächst dieser Frage zu.

Da diejenige Stelle der Netzhaut, welche der feinsten Ortsunterscheidung fähig ist, ein regelmäfsig gebildetes Mosaik von einander trennbarer Theile, der Zapfen, hat, von denen jeder einzelne mit einer Nervenfaser zusammenhängt, die zunächst zu den Nervenzellen der Netzhaut hinüberführt, so scheint die Annahme nicht unwahrscheinlich, dafs jeder einzelne Zapfen seine eigene abgesonderte Nervenleitung zum Gehirn hat, und dafs dem entsprechend die in ihm erregte Empfindung von qualitativ gleicher Empfindung in den benachbarten Zapfen unterschieden werden könne. Um diese Hypothese zu prüfen, wäre zu erörtern, wie sich in diesem Falle die Gröfse der Zapfen verhalten mufs, und welche Art von sichtbaren Objecten dabei die sichersten Schlüsse zulassen würden.

Das Licht, welches auf ein einziges empfindendes Element fällt, kann nur 215 eine einzige Lichtempfindung hervorbringen, in der nicht mehr unterschieden wird, ob einzelne Theile des Elements stark, andere schwach erleuchtet sind. Es können lichte Punkte wahrgenommen werden, deren Netzhautbild sehr viel kleiner ist, als ein empfindendes Netzhautelement, vorausgesetzt, dafs die Lichtmenge, die von ihnen in das Auge fällt, grofs genug ist, ein Netzhautelement merklich zu afficiren. So werden z. B. die Fixsterne, als Objecte von grofser Lichtstärke, trotz ihrer verschwindend kleinen scheinbaren Gröfse, vom Auge wahrgenommen. Ebenso können auch dunkle Objecte auf hellem Grunde wahrgenommen werden, obgleich ihre Bilder kleiner sind, als ein empfindendes Nervenelement, vorausgesetzt nur, dafs die Lichtmenge, welche auf das Element fällt, durch das dahin treffende dunkle Bild um einen wahrnehmbaren Theil verringert wird. Kann das Auge z. B. bei der angewendeten Beleuchtungsstärke Unterschiede der Lichtintensität von $^1/_{50}$ erkennen, so würde ein dunkles Bildchen, dessen Flächeninhalt $^1/_{50}$ von

dem eines empfindenden Elements ist, noch wahrgenommen werden können. Dagegen ist es klar, dafs zwei helle Punkte nur dann als zwei erkannt werden können, wenn der Abstand ihrer Bilder gröfser ist, als die Breite eines Netzhautelements. Wäre er kleiner, so würden beide Bilder immer auf dasselbe oder auf zwei benachbarte Elemente fallen müssen. Im ersteren Falle würden beide nur eine einzige Empfindung erregen, im zweiten Falle zwar zwei Empfindungen, aber in benachbarten Nervenelementen, wobei nicht unterschieden werden könnte, ob zwei gesonderte Lichtpunkte, oder einer da ist, dessen Bild auf die Grenze beider Elemente fällt. Erst wenn der Abstand der beiden hellen Bilder, oder wenigstens ihrer Mitte von einander gröfser ist als die Breite eines empfindenden Elements, erst dann können die beiden Bilder auf zwei verschiedene Elemente fallen, die sich gegenseitig nicht berühren, und zwischen denen ein Element zurückbleibt, welches nicht oder wenigstens schwächer als die beiden ersten von Licht getroffen wird.

Nach den Angaben von Hooke[1] erscheinen zwei Sterne, deren scheinbare Entfernung weniger als 30 Secunden beträgt, stets wie ein Stern, und
216 von Hunderten kann kaum einer die beiden Sterne unterscheiden, wenn ihre scheinbare Entfernung weniger als 60 Secunden beträgt. Die übrigen Beobachter, welche nicht an Sternen, sondern an weifsen beleuchteten Strichen oder Vierecken ihre Beobachtungen angestellt haben, fanden eine etwas geringere Genauigkeit. Es wurden von dem besten, von E. H. Weber untersuchten Auge zwei weifse Striche unterschieden, deren Mittellinien 73 Secunden von einander entfernt waren. Bei stärkerer Beleuchtung komme ich selbst unter möglichst günstigen Umständen bis 64 Secunden. In Listing's schematischem Auge entspricht auf der Netzhaut

ein Gesichtswinkel von	einem Abstande von
73″	0,00526 mm
63″	0,00464 „
60″	0,00438 „

Nach Koelliker's Messungen beträgt die Dicke der Zapfen im gelben Flecke 0,0045 bis 0,0054 mm (siehe S. 38), was fast genau mit den vorigen Zahlen übereinstimmt, so dafs auch durch diese Messungen die Annahme, dafs die Zapfen die letzten empfindenden Elemente der Netzhaut bilden, bestätigt wird.
n Spätere Beobachter haben etwas kleinere Zahlen gefunden: M. Schultz 0,0020 bis 0,0025, H. Müller 0,0015 bis 0,0020, Welcker 0,0031 bis 0,0036 mm.

216 Gleichzeitig ergiebt sich, dafs die optische Beschaffenheit eines gut gebauten und richtig accommodirten Auges vollkommen genügt, um den Grad von Genauigkeit, welchen die Gröfse der nervösen Elemente möglich macht, wirklich zu erreichen. Wir haben freilich (§ 13, S. 163) gefunden, dafs

---

[1] R. Smith, *A complete System of optics*, übers. v. Kaestner. S. 20.

·i einem Durchmesser der Pupille von 4 mm der durch Farbenzerstreuung ·zeugte Zerstreuungskreis einen Durchmesser von 0,0426 mm hat, also fast) mal gröfser ist, als die Dicke der Zapfen, aber dort auch schon die ründe angegeben, warum diese Zerstreuungskreise trotz ihrer Gröfse das ·hen nicht erheblich beeinträchtigen. Die Abweichungen wegen Asymmetrie ·s Auges (§ 14, S. 182) sind meist viel geringer, und beeinträchtigen das ·hen weniger, wenn nicht gleichzeitig horizontale und verticale Linien ge·hen werden sollen.

Auf den Seitentheilen der Netzhaut ist die Unterscheidungsfähigkeit viel ·ringer als im gelben Flecke, und zwar ist die Abnahme in der Nähe des etzhautcentrum geringer, als in gröfserer Entfernung davon. Nach den ·essungen von AUBERT und FÖRSTER ist die Abnahme nach verschiedenen ichtungen hin vom Centrum aus verschieden schnell, und zwar geschieht e nach oben und unten am schnellsten, nach der äufseren Seite der Netzut hin am langsamsten; dabei scheinen die individuellen Unterschiede emlich bedeutend zu sein. Ein auffallendes Resultat ihrer Messungen ist ıch, dafs bei der Accommodation für die Ferne die Abnahme nach den ·iten der Netzhaut hin schneller zu geschehen scheint, als beim Nahesehen. ·e fanden, dafs eine ähnliche Abnahme der Genauigkeit der optischen Bilder enigstens in Kaninchenaugen nach den Seiten der Netzhaut hin nicht stattidet. Dadurch wird constatirt, dafs die Unvollkommenheit des Sehens auf ·n seitlichen Netzhauttheilen nur von der Beschaffenheit der Netzhaut, cht von der der optischen Bilder abhängt.

Als Object für die Feststellung der kleinsten zu unterscheidenden istanzen hat TOB. MAYER und nach ihm E. H. WEBER weifse parallele Linien ·nutzt, welche durch gleich breite schwarze getrennt waren, VOLKMANN benutzte 217
›innwebfäden auf hellem Grunde, ich selbst fand der Beleuchtung wegen passender n Gitter von schwarzen Drähten zu benutzen, dessen Zwischenräume gleich dem urchmesser der Drähte waren, und welches vor den hellen Himmel gestellt wurde. ufserdem hat TOB. MAYER auch weifse Vierecke benutzt, theils durch ein schwars Gitter getrennt, theils schachbrettartig geordnet.

Man mufs bei der Anstellung der Versuche darauf achten, dafs das Auge volländig accommodirt werden könne, und nöthigenfalls ein passendes Brillenglas vor ıs Auge nehmen. Die Beleuchtung mufs stark sein, ohne doch blendend zu werden. Bei diesen Versuchen bemerkte ich eine auffallende Formveränderung der geraden hellen und dunkeln Linien. Die Breite jedes hellen und jedes dunkeln Streifen des von mir gebrauchten Gitters betrug $\frac{13}{24} = 0{,}4167$ mm. In dem Abstande von 1,1 bis 1,2 m fing die Erscheinung an sichtbar zu werden. Das Gitter bekam etwa das Aussehen wie in *Fig. 119 A*; die weifsen Streifen erschienen zum Theil wellenförmig gerümmt, zum Theil perlschnurförmig mit abwechselnd dickeren und dünneren ellen. Es seien in *Fig. 119 B* die kleinen Sechsecke Querschnitte der Zapfen

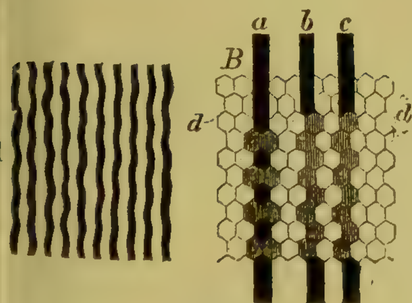


Fig. 119.

des gelben Flecks, *a*, *b* und *c* drei optische Bilder von den gesehenen Streifen, diese sind oberhalb *d d* in ihrer wirklichen Form dargestellt, unterhalb *d d* aber sind alle Sechsecke, deren gröfsere Hälfte schwarz war, ganz schwarz gemacht, deren gröfsere Hälfte weifs war, ganz weifs, weil in der Empfindung immer nur die mittlere Helligkeit jedes Elements wahrgenommen werden kann. Man sieht, dafs dadurch in der unteren Hälfte von *Fig. 119 B* ähnliche Muster entstehen, wie in *A*. PURKINJE[1] hat Ähnliches gesehen, und auch BERGMANN hat beobachtet, dafs zuweilen, ehe die Streifen des Gitters ganz verschwinden, dasselbe schachbrettartig erscheint, zuweilen Streifen in querer Richtung gegen die wirklich vorhandenen gesehen werden, was sich alles durch ähnliche Verhältnisse, wie die hier berührten, erklären läfst[2].

Wenn bei den Beobachtungen zwei leuchtende Objecte benutzt worden sind, deren Breite gegen ihren Abstand verschwindet, so können sie als zwei nur erkannt werden, wenn zwischen den Netzhautelementen, welche ihre Bilder empfangen, ein anderes zurückbleibt, welches dunkel bleibt. Der Durchmesser eines solchen Elements mufs also jedenfalls kleiner sein, als der Abstand der beiden hellen Bilder. Ist die Breite der Objecte aber gleich dem dunkeln Streifen zwischen ihnen, so ist es nicht gerade nöthig, dafs die Netzhautelemente schmaler seien, als das Bild des dunkeln Streifens. Ein Netzhautelement, welches von dem Bilde des dunkeln Streifens getroffen wird, und mit seinen Seitenrändern noch zum Theil in die hellen Streifen hineinragt, wird deshalb doch noch weniger Licht als seine Nachbarn empfinden können, vorausgesetzt, dafs die ganze Lichtmenge, von der es getroffen wird, kleiner ist, als die der Nachbarn. Wir können in solchen Fällen deshalb mit Gewifsheit nur soviel folgern, dafs die Netzhautelemente kleiner seien als die Entfernung der Mittellinien der hellen Streifen. Auch zeigt sich in der That in den unten angeführten Versuchen von TOB. MAYER, dafs bei parallelen Linien die Unterscheidbarkeit dieselbe bleibt, wenn sich die Breite des Schwarz oder Weifs ändert, aber die Summe der Breite eines schwarzen und eines weifsen Streifen
218 constant bleibt. Deshalb habe ich als Breite des Objects immer die Summe angegeben, welche der Entfernung der Mittellinien zweier benachbarter Objecte gleich ist, abweichend von MAYER, WEBER und VOLKMANN, und danach auch den kleinsten Gesichtswinkel berechnet.

---

1 J. E. PURKINJE, *Beobachtungen und Versuche.* I. 122.
2 BERGMANN, *Henle* und *Pflueger*, *Zeitschrift für ration. Medicin.* (3.) II. 88.

Beobachter.	Object.	Gröfse des Objects.	Entfernung vom Auge.	Entfernung dividirt durch Gröfse des Objects.	Gesichtswinkel in Secunden.
1) HOOKE	Fixsterne	—	—	—	60
2) TOB. MAYER	a) Parallele Linien mit gleichen Zwischenräumen	0,72 Par. Lin.	11 Par. Fufs	2200	94
	b) Eben solche mit breiteren und schmaleren Zwischenräumen	0,6 „ „	$9^1/_2$	2275	90
3) Derselbe	Weifse Quadrate durch ein schwarzes Gitter getrennt	0,88 „ „	$15^1/_2$	2422	80
4) Derselbe	Schachbrettmuster	1,04 „ „	12	1661	124
5) VOLKMANN	Spinnwebfäden	0,0052 Par. Zoll	7 Par. Zoll	1346	147,5
6) N. N. bei VOLKMANN	Dieselben	—	13	2500	80,4
7) TH. WEBER bei E. H. WEBER	Parallele Linien mit gleich breiten Zwischenräumen	0,05 Par. Lin.	$110^1/_2$ Par. Lin.	2210	90,6
8) N. N. 1 bei demselben	Dieselben	—	138	2760	73
9) N. N. 2 bei demselben	Dieselben	—	$110^1/_2$	2210	90,6
10) HELMHOLTZ	Stabgitter	1,083 mm	3500 mm	3235	63,75
11) O. H. bei demselben	Dasselbe	—	2400	2215	93
12) BERGMANN	Parallele Linien mit gleich breiten Zwischenräumen	2 mm	5500 bis 8000	2750 4000	75 51,6
13) HIRSCHMANN	Parallele Drähte	—	—	4125	50

„ Aus diesen Versuchen ist nur zu schliefsen, dafs es auf der Netzhaut parallele Reihen lichtempfindender Elemente giebt, für welche die Mittellinien der Reihen um weniger als 0,00363 mm (Hirschmann), beziehlich 0,00463 mm (Helmholtz) von einander abstehen. Dabei können aber die Mittelpunkte der Netzhautelemente selbst einen erheblich gröfseren Abstand haben, wenn sie sich nämlich in benachbarten Reihen nicht in normaler Richtung gegenüberstehen. Wären sie z. B. wie die Sechsecke der *Fig. 119 B* geordnet, so können wir zwischen zwei Verticalreihen solcher Sechsecke, die ihre Sechsecke horizontal neben einander in gleicher Höhe haben, noch andere unterscheiden, deren Sechsecke sich zwischen je zwei Horizontalreihen der ersteren einschieben. Letztere Reihen sind übrigens den ersteren vollkommen gleich gebildet. Der Abstand der Mittellinien je zweier solcher nächstgelegener Verticalreihen ist gleich dem halben Abstande gegenüberliegender Sechsecksseiten. Aufser der verticalen giebt es noch zwei andere Richtungen um 60° zu jener geneigt für Reihen von gleichem Abstande. Dagegen haben die horizontalen Reihen der Figur etwas weiter von einander entfernte Mittellinien. Wenn s der Abstand der Verticalreihen ist, so ist $s\sqrt{3}$ der der horizontalen Reihen und der um 60° gegen letztere geneigten. In verschiedenen Theilen des Feldes können die Reihen verschiedene Richtungen haben, so dafs man für jede Linienrichtung immer Stellen findet, welche ihr parallel die engsten Reihen von Netzhautelementen zeigen. Wenn wir aus s den Inhalt der Sechsecke berechnen, so ist dieser $2.5^2\sqrt{3}$, und die Anzahl von Netzhautelementen auf einem Quadratmillimeter der Netzhautgrube findet sich zu 13466 (Helmholtz) bis 21907 (Hirschmann.)

Zählungen der Anzahl der Zapfen der Netzhautgrube sind neuerdings in E. Brücke's Laboratorium von Herrn F. Salzer[1] an Augen todtgeborener Kinder ausgeführt worden, und haben 13200 bis 13800 Zapfen für das Quadratmillimeter ergeben, was mit der nach meinen Beobachtungen berechneten Zahl gut übereinstimmt. Möglicherweise sind sie bei einzelnen Individuen, oder in einem kleinen Theile der Netzhautgrube, den besonders geübte Beobachter zu benutzen lernen, kleiner, wodurch sich die gröfseren Zahlen bei Herrn Hirschmann und bei dem von Bergmann beobachteten zehnjährigen Knaben erklären.

Mit der ersteren Zahl stimmen auch sehr gut die Beobachtungen von Herrn Claude du Bois-Reymond[2], welcher zu ermitteln suchte, wie viele gleichmäfsig vertheilte Lichtpunkte (quincuncial geordnet) auf einer bestimmten Netzhautfläche unterschieden werden könnten. Seine Zahlen schwanken bei verschiedenen Beobachtern zwischen 13500 und 16300 pro Quadratmillimeter Fläche der Netzhautgrube. Rücken die Punkte näher zusammen, so fliefsen sie zu einer gleichmäfsig hellen Fläche zusammen. Das Object war ein Stanniolblatt mit 460 eingestochenen Löchern, 2,5 mm von einander entfernt, 0,2 mm im Durchmesser, durch welche Himmelslicht schien. Wenn man das Object näherte, erschienen erst Linienreihen, ehe es sich in Punkte auflöste.

219 Die Untersuchungen von Aubert und Förster über die Genauigkeit des Sehens auf den Seitentheilen der Netzhaut sind nach zwei Methoden ausgeführt worden. Bei der ersten Methode blickte der Beobachter durch eine geschwärzte Röhre, welche fest aufgestellt war, dadurch die Stellung seines Auges sicherte und

---

1 F. Salzer, *Sitzb. der K. K. Akad. d. Wissensch. zu Wien.* Bd. 81. Abth. III. Jänner 1880.

2 Cl. du Bois-Reymond, *Über die Zahl der Empfindungskreise in der Netzhautgrube.* Berlin. 1881. *Inaug. Dissert.*

in Auge vor blendendem Seitenlicht schützte, nach einem mit Buchstaben und ahlen, die in gleichen Zwischenräumen von einander standen, bedruckten Bogen ' Fuſs breit, 5 Fuſs lang) hin. Dieser war auf zwei horizontale Walzen aufge-llt, so daſs der vom Beobachter gesehene Theil nach jedem Versuch schnell ge-echselt werden konnte. Da die aufgedruckten Buchstaben und Zahlen ferner ganz illkührlich durch einander gestellt waren, konnte der Beobachter auch nie andere ahlen errathen, als die er wirklich gesehen hatte. Vor dem Bogen stand eine eydener Flasche, welche sich von Zeit zu Zeit entlud, und dadurch den Bogen uf einen Moment erhellte, während es in den Zwischenzeiten so dunkel war, daſs er Beobachter eben nur den Ort der Buchstaben, aber nicht ihre Form erkennen onnte. Während ein Gehülfe den Bogen mit den Buchstaben beliebig stellte, gab er Beobachter nach jeder Richtung an, welche Buchstaben er erkannt hatte. s wurden vier solche Bogen mit Ziffern und Buchstaben von verschiedener röſse gebraucht. Der Abstand des Beobachters von den Objecten konnte ge-ndert werden.

Nennen wir mit AUBERT den doppelten Winkel zwischen der Gesichtslinie nd der Richtungslinie der äuſsersten gesehenen Buchstaben, d. h. also den Ge-chtswinkel des mit erkennbaren Zahlen besetzten Raumes, den **Raumwinkel**, und en Winkel, unter welchem die gröſsten Dimensionen der gesehenen Buchstaben nd Zahlen dem Beobachter erschienen, den **Zahlenwinkel**, so ergab sich, daſs ei **gleicher wirklicher Gröſse der Zahlen das Verhältniſs des Zahlen-inkels zum Raumwinkel nahehin constant war**; nur bei Raumwinkeln über 0 oder 40° waren die Zahlenwinkel etwas gröſser, als dies Verhältniſs erforderte. agegen fand sich, daſs **bei constanter scheinbarer Gröſse der Zahlen leine nahe Zahlen besser erkannt wurden als gröſsere ferne**. Es fand ch nämlich die Verhältniſszahl des Raumwinkels dividirt durch den Zahlenwinkel, ie folgt: 220

Wirkliche Gröſse der Zahlen in mm.	Grenze des Raumwinkels.	Verhältniſs des Zahlenwinkels dividirt durch den Raumwinkel.		
		Minimum.	Maximum.	Mittel.
26	25°	7	7,9	7,18
26	40	6	7,3	6,69
13	27	11	12	11,14
7	27	9,7	14,5	12,79

In der zweiten Columne ist als Grenze des Raumwinkels derjenige Werth lesselben angegeben, bis zu welchem die Messung ging, oder wenigstens nahehin onstante Verhältniſszahlen lieferte. Die letzte Columne zeigt, daſs das Verhältniſs wischen Zahlenwinkel und Raumwinkel steigt, wenn die wirkliche Gröſse der Zahlen sich verkleinert. Dieses letztere Factum ist sehr räthselhaft. Sollte der Mechanismus der Accommodation die peripherischen Theile der Netzhaut ver-ändern? AUBERT macht die Annahme, daſs die Stäbchen beim Fernsehen in den Randtheilen der Netzhaut sich schief stellen und dadurch den normalen Gang der Lichtstrahlen hemmen.

Die zweite Methode der Untersuchung wurde mittels des in *Fig. 120* abgebildeten Apparats bei gewöhnlichem Tageslichte ausgeführt. *A* ist ein weifs lackirter Blechstreifen von 0,3 m Länge und 0,5 m Breite, welcher nach Art der Flügel einer Windmühle um die Axe *u* gedreht werden kann. Der Blechstreifen mit seiner Axe läfst sich an einer verticalen Stahlstange *B* auf- und abschieben, welche auf einem Brettchen *C* befestigt ist. Am andern Ende des Brettchens, gegenüber der Axe des Blechstreifens, befindet sich das eine Auge des Beobachters, während sein anderes Auge durch den schwarzen Papierschirm *D* verdeckt ist, welcher an einem Holzstabe *d* so befestigt ist, dafs er nach links und rechts gedreht werden kann. Die Axe des Blechstreifens ist 0,2 m von dem Mittelpunkte der Grundlinie beider Augen des Beobachters entfernt. Das Brettchen *C* hat unten eine Handhabe.

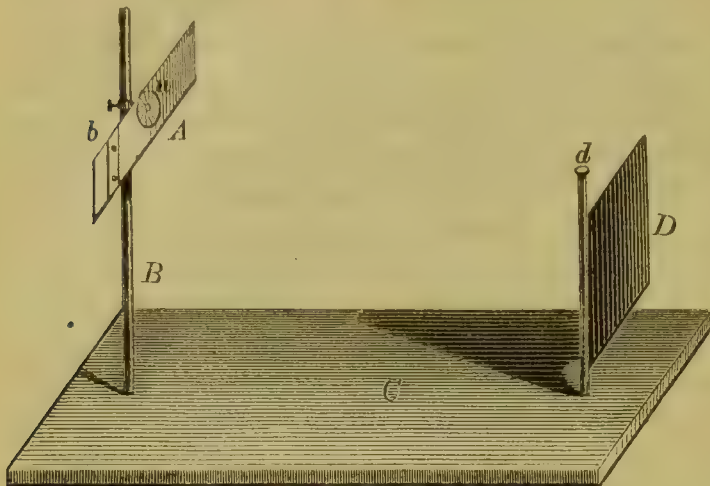


Fig. 120.

Bei den Versuchen legte der Beobachter die Nase an den Holzstab *d*, verdeckte mit dem Schirm das eine Auge, stützte sein Kinn auf das Brett vor dem Schirm und stellte die Axe der Blechtafel in gleiche Höhe mit den Augen. Nun fixirte er den Mittelpunkt der Tafel (oder die Spitze ihrer Axe) unverwandt, und schob allmälig von der Seite her in den Falzen der Blechtafel eine weifse Karte *b* mit 2 Punkten nach dem fixirten Punkte hin. Sobald er, bei ununterbrochen fester Fixation, mit den seitlichen Theilen der Retina die zwei Punkte unterschied, hielt er die Karte fest und las die Entfernung der beiden Punkte von dem Fixationspunkte an einer Metereintheilung, welche sich an den Falzen der Blechtafel befand, ab, und dies wurde für verschiedene Neigungen der Blechtafel gegen
221 den Horizont ausgeführt. Die schwarzen Flecke auf der Karte waren rund, von verschiedener Gröfse und verschiedenem gegenseitigen Abstande. Beide Punkte standen immer gleich weit von der Drehungsaxe ab.

Die *Fig. 121* stellt die Resultate dieser Messungen für ein Paar schwarze Flecke von 2,5 mm Durchmesser und 14,5 mm gegenseitigen Abstand dar. Die ausgezogene Grenzlinie bezieht sich auf AUBERT's, die punktirte auf FÖRSTER's Augen. Der Schnittpunkt der *Radii vectores* entspricht dem Fixationspunkte der Augen, die gezogenen *Radii vectores* selbst entsprechen den einzelnen Messungen und ihrer Richtung nach den verschiedenen Stellungen der Blechtafel. *O* bedeutet oben, *U* unten, *A* aufsen, d. h. Schläfenseite, *I* innen oder Nasenseite. Die Linie *ab* bezeichnet

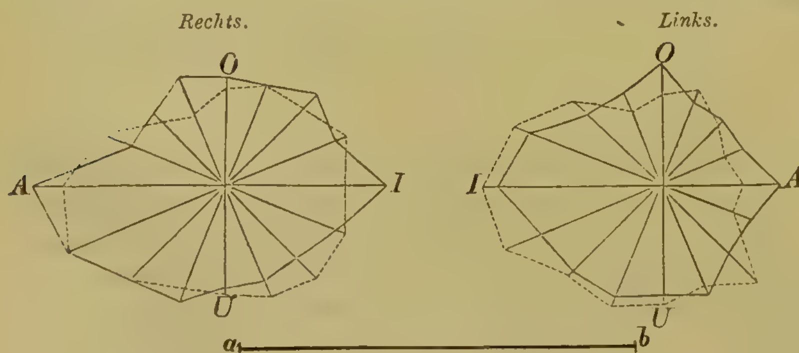


Fig. 121.

ie entsprechende Entfernung von der Blechtafel, welche 0,2 m betrug. Alle ineardimensionen sind auf 1/5 reducirt[1]. Es stellen also diese Flächen zunächst iejenigen Theile des Gesichtsfeldes dar, innerhalb deren man zwei Punkte von er angegebenen Gröfse und Entfernung von einander unterscheiden kann; will an die entsprechenden Flächen der Netzhaut haben, so mufs man sie umkehren. Die unregelmäfsig ovale Gestalt dieser Flächen zeigt beträchtliche individuelle Abeichungen selbst zwischen den beiden Augen derselben Person.

Die mittleren Resultate der Messungen an verschiedenen Paaren von schwarzen lecken sind in *Fig. 122* dargestellt. Der Fixationspunkt ist *a*, und *ab*, *ac* sind die Mittel sämmtlicher Entfernungen; welche bei allen vier Augen in je 8 verschiedenen Meridianen für das bezüglich bei *b*, *c* u. s. w. stehende Paar von Punkten an der Blechtafel eingestellt wurden. Bei *c* ist das Paar von Punkten, auf welche sich *Fig. 121* bezieht. Man sieht, dafs in gröfserer Entfernung die Breite des Objects schneller unehmen mufs, als bei kleineren Entfernungen. Die gefundenen Mittelzahlen elbst sind folgende:

Fig. 122.

Entfernung der Punkte in mm.	Durchmesser der Punkte in mm.	Mittlerer Abstand vom Centrum der Blechtafel in mm.
3,25	1,25	31
6,5	2,5	50
9,5	3,75	55
12	1,25	60
14,5	2,5	65
20,5	3,75	77

Bei diesen Versuchen fanden die beiden Beobachter übrigens noch öfters unempfindiche Stellen der Netzhaut, gleichsam kleine blinde Flecke, wo einer der Punkte oder beide plötzlich verschwanden. Aufser solchen Stellen, wo nur eine vorüber- 222 gehende Blendung stattzufinden schien, waren auch constante vorhanden, die immer wieder zu finden sind.

Dafs die Ortsunterscheidung auf den Seitentheilen der Netzhaut so viel schwächer ist, könnte man, indem man nur die Zapfen als lichtempfindlich ansieht. durch die auf gleiche Fläche fallende sparsamere Zahl der durch Stäbchen getrennten und andererseits auch dickeren Zapfen zu erklären suchen. Indessen sind nach AUBERT's und FÖRSTER's Messungen die Unterschiede zwischen Centrum und Peripherie gröfser, als man nach einer solchen Hypothese erwarten sollte. Die Zählungen von F. SALZER zeigen Unterschiede, die das Verhältnifs von 2 zu 5 Zapfen auf gleicher Fläche erreichen, meist aber lange nicht so weit gehen. Gleichzeitig ergiebt sich aus diesen Zählungen, dafs die Anzahl der Zapfen auf der menschlichen Netzhaut gegen 3 Millionen beträgt, während von Nervenfasern im Sehnerven etwa nur 1 Million vorhanden sein können, dafs also nicht jeder Zapfen einer Nervenfaser entsprechen kann.

[1] Die Angabe AUBERT's, dafs sie auf 1/4 reducirt seien, pafst nicht zu den angegebenen Zahlen.

n Man muſs deshalb auch für das Auge an eine andere Hypothese denken, di wahrscheinlich bei den Tastnerven zutrifft. Man denke eine mit empfindende Elementen bedeckte Fläche, deren Nerven in ein feines anastomosirendes Netz vo Nervenfäden aufgelöst sind, welches einerseits mit den zahlreichen empfindende Elementen, andererseits mit der sehr viel kleineren Zahl zum Gehirn leitende Nervenfasern in Verbindung steht. Man setze ferner voraus, daſs jede Erregun eines empfindlichen Elements sich durch das Netz hindurch den in der Nähe au dem Netz entspringenden Nervenfasern mittheilen könnte, aber um so schwäche je weiter entfernt diese entspringen. Unter diesen Umständen würde jeder Punk der Fläche empfindlich sein und die Erregung verschiedener zwischen den Ab gangsstellen derselben drei Nervenfasern liegenden Punkte würde dadurch verschie denen Eindruck machen, daſs die Erregung sich in verschiedenem Maaſse auf dies drei Nervenfasern vertheilte, je nachdem der erregte Punkt der einen oder de andern unter ihnen näher gelegen wäre. Wenn man also sehr feine Abstufunge im Verhältniſs der Erregungsstärken solcher benachbarten Nervenfasern noch er kennen könnte, würde auch eine sehr feine Unterscheidung verschiedener Lage eines einzelnen erregten Punktes und seiner Bewegung noch möglich sein. Abe zwei Eindrücke würden zwischen denselben ableitenden Nervenfasern immer nu als ein mittlerer erscheinen können. Eine solche Einrichtung würde also eine seh beschränkte Unterscheidung zweier gleichzeitig gereizten Stellen, und dabei doc eine feine Wahrnehmung der Fortbewegung einer gereizten Stelle geben könne

Die von Tobias Mayer schon beobachtete Abhängigkeit der Unterscheidun kleiner Objecte von der Lichtstärke, auf welche wir näher in § 21 eingehen wer den, würde bei der zuletzt erörterten Hypothese davon abhängen können, daſs di kleineren localen Unterschiede nur durch Unterschiede der Lichtstärke angezeig wären, und wir bei schwacher Helligkeit nur gröſsere Bruchtheile von Lichtstärk unterscheiden.

Aber auch für das Sehen mit gesonderten empfindlichen Elementen, wie e wahrscheinlich in der Netzhautgrube stattfindet, können die oben erwähnten Zeich nungen und Muster des Eigenlichts der Netzhaut schwach beleuchtete und wenig au gedehnte Bilder leicht unkenntlich machen, während gleichmäſsige schwache Belichtun einer ausgedehnteren Fläche leichter als von auſsen kommend zu erkennen wär

842 Die ärztlichen Bestimmungen der Sehschärfe werden in der Regel mi Buchstaben von verschiedener Gröſse ausgeführt, welche man aus gröſsere Entfernung und mit passender Unterstützung der Accommodation durc Brillengläser betrachten läſst. Als Maaſs der Sehschärfe eines Auges benutz man einen Bruch, dessen Zähler der Abstand ist, in welchem jene Buch staben noch gelesen werden konnten, dessen Nenner dagegen die Entfernun ist, aus der sie unter einem Winkel von 5 Winkelminuten erscheinen. Di letzteren Entfernungen sind bei Buchstabenproben, welche Snellen veröffent licht hat, schon angegeben.

Im Durchschnitt findet sich nach Vroesom de Haan diese Genauigkei im 10. Lebensjahre gleich 1,1, im 40. gleich 1,0, im 80. gleich 0,5 un nimmt überhaupt mit steigendem Lebensalter continuirlich ab.

Nach den Beobachtungen von E. Javal ist aber bei Correction des Astig matismus und guter Beleuchtung (gleich der von 500 Kerzen in 1 m Entfernung die Genauigkeit des Sehens um $^1/_4$ bis $^1/_3$ gröſser, als de Haan angab.

Veränderungen in der Netzhaut, welche bei der Reizung durch Licht eintreten. Dergleichen sind erst in neuester Zeit beobachtet worden, sie sind Bleichung des Sehroth, Bewegungen der Pigmentkörnchen in dem Pigmentepithel der Netzhaut, und elektrische Ströme.

Bleichung des Sehroth. Dafs die Aufsenglieder der Stäbchen der Frösche unter Umständen roth aussehen, war gelegentlich schon von H. Müller, Leydig und Max Schultze beobachtet worden, von letzterem auch bei der Ratte und Eule. Fr. Boll[1] fand, dafs es hauptsächlich das Licht ist, welches dieses Pigment, das er „Sehroth" nannte, zerstört, und dafs man dasselbe regelmäfsig beobachten kann, wenn man die Frösche vor ihrem Tode im Dunkeln aufbewahrt, und das Auge schnell, bei möglichst geringem Lichte präparirt. Die genauere physikalische und chemische Kenntnifs der Bedingungen, die hierauf Einflufs haben, und der Vorgänge dabei, verdanken wir Herrn W. Kühne, nach dessen Darstellung[2] ich hier referire. Wenn man die Präparation des Auges im Natronlicht vornimmt, ist gar keine grofse Eile nöthig. Der Sehpurpur ist in den Stäbchen fast aller Wirbelthiere, auch beim Menschen gefunden worden. In der Nähe des vorderen Randes der Netzhaut fehlt er beim Menschen, Affen und andern Thieren, bei ersteren scheinen auch die im Umkreise der Netzhautgrube spärlich zwischen den Zapfen des gelben Flecks stehenden Stäbchen purpurfrei zu sein. Die Aufsenglieder der Zapfen sind nicht gefärbt, die Netzhautgrube eines frisch, unter den nöthigen Vorsichtsmafsregeln exstirpirten menschlichen Auges fand Kühne durchaus farblos[3].

Das rothe Pigment kann durch Lösung reiner gallensaurer Alkalisalze gelöst werden. Die Lösungen sind klar, purpurn in verschiedener Tiefe und Farbenton, am Lichte werden sie schnell roth, dann gelb, zuletzt farblos. Durch Dialyse kann das gallensaure Salz ausgewaschen werden, unter Rücklassung einer weichen purpurfarbigen Masse, die vom Lichte ebenfalls schnell gebleicht wird.

Die Lösung des Sehpurpur im Dunkeln verdünnt wird rosenroth, stärker verdünnt lila. Frischer Sehpurpur in Lösung läfst Roth und Violet durch; von $D \,.\, {}^1\!/_2 \,.\, E$ im Gelbgrün bis G an der Grenze des Violet ist die Absorption ziemlich gleich stark, an der erstgenannten Grenze ein wenig stärker, nach den Enden des Spectrum hin schwächer. Gelb gewordenes Sehroth absorbirt das Violet, läfst aber Grün wieder durch.

Im lebenden Auge mit Hülfe des Augenspiegels ist der Sehpurpur wegen des dunklen, vom Blut gerötheten Hintergrundes der Netzhaut nicht sichtbar.

Im Interferenzspectrum wird der Sehpurpur zuerst im Gelbgrün, am Orte der stärksten Absorption gebleicht; das durch die Bleichung veränderte Pigment (Sehgelb) wird dagegen durch die blauen und violetten Strahlen schneller als durch die weniger brechbaren farblos gemacht.

---

[1] F. Boll, *Berlin. Monatsber.* 12. Nov. 1876. *Accad. dei Lincei.* 3. Decbr. 1876. Derselbe, *du Bois-Reymond's Archiv für Anatomie und Physiologie.* 1877. S. 4.

[2] Zusammengefafst in L. Hermann, *Handbuch der Physiologie.* Bd. III. Th. 1. *Chemische Vorgänge in der Netzhaut* von W. Kühne. Leipzig. 1879.

[3] W. Kühne, *Untersuchungen des physiol. Instituts der Univers. Heidelberg.* Bd. III. Heft 1 und 2. Bd. IV. Heft 3.

Bei Mensch und Thieren fluorescirt die Stäbchenschicht ungebleicht schwach und mit bläulichem Scheine, bedeutend stärker und grünlich, nachdem sie durch Licht vollkommen entfärbt worden. Stäbchen ohne Purpur, wie sie am vorderen Rande der menschlichen Netzhaut vorkommen, lassen kaum Fluorescenz erkennen, ebenso wenig die purpurfreien Zapfen; die Netzhautgrube erscheint in gut conservirten menschlichen Netzhäuten, auch wenn ihre langen Zapfenaufsenglieder noch vorhanden sind, im Focus ultravioletter Strahlen immer als dunkler Fleck, und um so auffallender dunkel, je mehr die Stäbchen der Umgebung zu fluoresciren beginnen.

Die Bleichung des Sehpurpurs geschieht auch während des Lebens durch das in das Auge fallende Licht. Ein lebender Frosch braucht nur 10 bis 15 Minuten gegen die unbedeckte Sonne gehalten zu werden, oder 30 Minuten im Freien gutem Tageslichte ausgesetzt zu sein, um den Purpur zu verlieren. Bei einem Kaninchen mit erweiterten Pupillen genügt ebenfalls ungehindertes Tageslicht in einer Viertelstunde. Wenn man die Augen nachher bei Natronlicht unter aller Vorsicht präparirt, sind die Netzhäute farblos, beziehlich gelb oder chamois, wenn das Licht schwächer war.

Die Bleichung geschieht nur so weit die Netzhaut vom Lichte getroffen wird. Wenn also das Auge unbeweglich so aufgestellt wird, dafs es scharfe Bilder auf seiner Netzhaut entwirft, so erhält man eine Art photographischer Bilder auf derselben, *Optogramme*, wie sie ihr erster Darsteller, Herr W. Kühne, genannt hat.

An einigermafsen frischen, ausgeschnittenen Kaninchen- und Rindsaugen erhält man die Bilder leicht durch Exponiren auf dem Grunde eines cylindrischen, innen geschwärzten Kastens von 50 cm Durchmesser und 50 cm Höhe, der mit einer matten Glastafel bedeckt ist, auf welcher Streifen schwarzen Papiers das Object bilden. Die Belichtung erfordert 2—7 Minuten guten Himmelslichts. Die Netzhaut mufs dann bei Natronlicht unter Salzwasser sogleich, oder nach 24stündigem Liegen des durchschnittenen Auges in Alaunlösung von 4 pCt. abgehoben und flottirend oder auf ein glasirtes weifses Porcellanschälchen ausgebreitet betrachtet werden.

Auch im Auge gefesselter lebender Kaninchen mit durch Atropin erweiterter Pupille und unbeweglich gemachten Augen können in 10 Secunden bis 7 Minuten Optogramme erzeugt, und nach schneller Tödtung des Thieres beobachtet werden. Die aus der Alaunlösung genommenen Netzhäute, 8 Tage lang im Dunkeln getrocknet, haben ziemlich echt gefärbtes Sehgelb, welches am Licht kaum noch verändert wird.

Im Froschauge bildet das Haften des schwarzen Epithels an den belichteten Stellen ein Hindernifs. Am besten wird dies überwunden, wenn man die curaresirten Frösche durch Liegen im Wasser ödematös macht und dann das Lichtbild entwickelt.

Die Verfärbung des Purpurs geht im lebenden Auge durch dieselben Farbenstufen, wie im Tode, aus purpurroth wird sie reinroth, ziegelroth, orange, rosa, chamois, gelb, bevor sie ganz farblos wird.

Im lebenden Auge stellt sich der Sehpurpur im Dunkeln wieder her, bei Fröschen selbst in ausgeschnittenen Augen, die dem Blutumlauf entzogen

sind. Das geschieht im Dunkeln sogar noch an der ausgeschnittenen Netzhaut, so lange sie mit dem Pigmentepithel ihrer Rückseite in Berührung ist, auch wenn sie schon abgehoben worden und dann wieder aufgelegt ist. Die regenerative Fähigkeit des Pigmentepithels kann schnell durch Erhitzen der Augen bis 45° C. aufgehoben werden, sonst geht sie durch Absterben langsamer verloren, bei Säugern schneller als bei Fröschen. Übrigens wirkt auch das nicht pigmenthaltige Epithel albinotischer Kaninchenaugen regenerirend, wenn auch solche Versuche am Säugethierauge wegen des schnellen Absterben des Epithels nur unvollständig gelingen.

Ein ganz entfärbtes Auge eines lebenden Frosches braucht 20 Minuten Dunkelheit, um die erste Spur der Stäbchenfärbung wieder zu gewinnen, 1 bis 2 Stunden, im Eiswasser sogar bis 9 Stunden, um den Purpur wieder herzustellen. Kaninchen brauchen 7 Minuten Dunkelheit, um den ersten Anflug, 33 bis 38 Minuten, um die volle Sättigung des Purpurs herzustellen. Darüber kann sehr scharf durch Optogramme entschieden werden, die man im lebenden Auge erzeugt, und nachher in der Dunkelheit wieder ausblassen läfst, ehe man das Thier zur Untersuchung des Auges tödtet.

Der sich regenerirende Sehpurpur zeigt nicht die gelblichen Färbungen des bleichenden Purpurs, sondern tritt gleich lila oder rosenroth hervor. Es wird also bei der Regeneration ganz gebleichten Purpurs kein Sehgelb wieder gebildet. Sehr viel schneller geht dagegen die Herstellung des Purpur von statten, wenn die Bleichung nur bis zur Bildung von Sehgelb fortgeschritten ist, also mufs dies in Purpur zurückgeführt werden können. Und auch an Froschnetzhäuten, die vom Epithel getrennt, gebleicht, und dann auf das Epithel zurückgelegt sind, beobachtet man diese schnellere Regeneration durch gelb hindurch. Herr W. Kühne nimmt an, dafs in diesen Fällen das Sehgelb, beziehlich dessen farbloses Product das Sehweifs der Stäbchen noch nicht verloren gegangen sei, und das Material zur Neubildung des Purpurs gebe. Ist aber das Sehweifs den Stäbchen im lebenden stark belichteten Auge verloren gegangen, so müssen die Epithelzellen neues Material liefern, welches nicht gelb wird.

Übrigens zeigen auch Lösungen von Sehpurpur schwache Regeneration, um so deutlicher, wenn die Netzhaut in die Cholatlösung mit der Epithelschicht eingebracht war. Die regenerirende Substanz aus dem Epithel scheint also in kleinen Mengen löslich zu sein.

Die Epithelzellen scheinen selbst gegen Licht empfindlich zu sein und ihre regenerirende Fähigkeit dadurch zu verlieren, wobei rothes Licht, wie es auch durch die natürlich gefärbten Stäbchen ihnen zukommt, weniger schädlich ist, als andres. Es zeigt sich dies, wenn man von dem Pigment abgezogene Netzhäute von ödematösen Curarefröschen auf die mehr oder weniger dem Lichte ausgesetzt gewesene Pigmentschicht eines andern Froschauges bringt. Rothe Belichtung zeigt sich dabei sehr wenig nachtheilig für die regenerativen Processe. Die Schwächung der Epithelwirkung durch Belichtung zeigt sich auch darin, dafs eine gewisse Stärke rother Belichtung,

welche die Augen von Dunkelfröschen nicht bleicht, doch im Stande ist, die Wiederfärbung gebleichter Augen zu verhindern.

Da Sehpurpur in den Aufsengliedern der Zapfen bisher nie gefunden wurde, auch nicht bei der gröfsten Schnelligkeit der Präparation und Vorsicht in der Belichtung des Auges, und die Netzhautgrube, in der wir die schärfste Localisation beim Sehen finden, keine Stäbchen und keinen Purpur enthält, aufserdem ganze Thierclassen keinen Purpur in ihren Augen zeigen (Schlangen, die meisten Wirbellosen), so kann zweifellos ohne Purpur gesehen werden. Ja auch bei Thieren, welche nur Stäbchen, oder wenigstens nur purpurhaltige Elemente in ihrer Netzhaut haben, wie die Kaninchen, ist es nach KÜHNES Beobachtungen sicher, dafs sie sehen, selbst wenn man sie vorher so lange dem Sonnenlichte ausgesetzt hat, dafs ihre Netzhaut vollständig gebleicht sein mufs.

Man wird dem Sehpurpur nur Functionen zuschreiben können, durch welche sich die peripherischen Theile der Netzhaut vor dem Centrum auszeichnen. Wir werden später sehen, dafs jene für schwache Lichteindrücke, namentlich bewegter Gegenstände empfindlicher sind. Bekannt ist, dafs feine Lichtpunkte, wie die Plejaden, direct fixirt, fast verschwinden, bei Fixation eines nahe gelegenen andern Sterns dagegen viel heller zum Vorschein kommen. Wir kommen in § 21 und 23 hierauf zurück.

Einwirkung des Lichts auf das Pigmentepithel. Bewegungen der Pigmentkörnchen im Innern von Zellen, wo sie in contractiles Protoplasma eingelagert sind, kommen auch aufserhalb des Auges unter dem Einflufs von Licht vor. Am auffallendsten sind sie in der Haut der Chamäleonten, wo sie von E. BRÜCKE untersucht worden sind, ebenso in der Haut der Frösche. Dafs die Pigmentschicht nach Belichtung der Netzhaut stärker anhaftet, war von BOLL[1] bemerkt worden, die Bewegung der Körnchen von CZERNY[2], ANGELUCCI[3], W. KÜHNE erkannt und studirt. Ich referire wieder nach des Letzteren zusammenfassender Darstellung.

Bei Fröschen, die im Dunkeln gesessen haben, liegen die Pigmenthäufchen um die äufseren Enden der Stäbchen zusammengedrängt, so dafs die Endflächen der Stäbchen, die den Pigmentzellen anliegen, unbedeckt bleiben und Licht von der Aufsenseite der Netzhaut durch die Axe der Stäbchen nach innen durchgehen kann. Versucht man, die Netzhaut abzuziehen, so löst sie sich in der Regel von der Schicht der Pigmentzellen, indem deren zwischen die Stäbchen eindringenden Fortsätze herausgezogen werden.

Wirkt Licht ein, so verbreitet sich das Pigment sowohl hinter der Endfläche des Stäbchens, als in die Fortsätze zwischen die Aufsenglieder, theilweis sogar zwischen die Innenglieder der Stäbchen und Zapfen, und da auch gleichzeitig die Aufsenglieder der Stäbchen schwellen, so liegen sie

---

[1] F. BOLL, *Monatsber. d. Akad. Berlin.* 1877. Jan. 11.

[2] CZERNY, *Wiener Sitzungsber.* LVI.

[3] A. ANGELUCCI, *Atti dell' Acad. d. Lincei.* 1877—78. Ser. III. Vol. 2. p. 1031—1055, auch im *Arch. für Anat. u. Physiol.* 1878.

fester zusammengedrängt zwischen den gefüllteren Pigmentfortsätzen. Dadurch scheint das Haften derselben bedingt zu sein. Bei niederer Temperatur tritt es weniger stark ein. Die Wanderung des Pigments beginnt, noch ehe die Bleichung des Sehpurpurs erheblich vorgeschritten ist, sie schreitet nach Kühne am weitesten fort in rother Beleuchtung, welche den Purpur nur langsam bleicht. Angelucci fand blaues Licht wirksamer. Zum vollständigen Vordringen des Pigments genügen nach ihm 10—15 Minuten, zur Rückbildung sind $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden nöthig.

Die Erscheinungen sind am vollständigsten an Fröschen zu studiren, doch zeigt sich das stärkere Haften nach Belichtung deutlich auch bei Vögeln und Säugethieren, und ist in einem geeigneten Falle von Kühne auch am Menschen beobachtet worden.

Dafs das Vortreten des Pigments die Regeneration des Sehpurpurs sehr erleichtern, seine Bleichung verzögern werde, scheint wahrscheinlich, dafs es Ausbreitung und Reflexion des Lichtes in der musivischen Schicht der Netzhaut beschränke, ebenfalls. Dagegen erscheint die Bewegung des Pigments, so weit wir sie bisher kennen, viel zu träge, als dafs sie dem schnellen Wechsel von Licht und Dunkel auf der Netzhaut entsprechen könnte, und die Pigmentzellen zu grofs, als dafs sie Sehelemente darstellen könnten. Zu bemerken ist freilich, dafs auch die sehr schnelle Flimmerbewegung der mit Wimperhärchen versehenen thierischen Zellen durch Protoplasma vermittelt ist. Wenn also Lichtreiz in den Pigmentkörperchen vibrirende Bewegungen, ähnlich denen der Brownschen Molecularbewegung hervorbringen könnte (wofür aber bisher noch jede Beobachtung fehlt), so könnten dadurch auch wohl die zwischen den Pigmentfortsätzen liegenden Aufsenglieder der Stäbchen und Zapfen gereizt werden.

Neuerdings hat Herr van Genderen Stort[1] gefunden, dafs sich auch die Innenglieder der Zapfen unter Lichteinwirkung zusammenziehen, kürzer und dicker werden. Die gewöhnlich gegebenen Abbildungen der Zapfen entsprechen diesem belichteten Zustand. Mäfsiges Tageslicht bringt dies in 10—15 Minuten hervor; die brechbaren Strahlen wirken schneller, doch ist schliefslich das Maximum der Contraction immer dasselbe. Die Veränderung kann in rothem Licht ohne gleichzeitiges Hervortreten des Pigments vorkommen. Übrigens wirkt nicht blos Licht, was die Netzhaut trifft, sondern reflectorisch auch solches, was das andere Auge oder die Haut des Frosches trifft.

Electrische Ströme des Sehnervenapparates.

Nach den Entdeckungen von E. du Bois-Reymond erregen alle Nervenstämme des thierischen Körpers elektrische Ströme, wenn an ihnen in noch reizbarem Zustande ein Querschnitt angelegt, und ein leitender Bogen mit einem Ende an die natürliche Oberfläche des Nerven (natürlichen Längsschnitt) mit dem andern an den Querschnitt angelegt wird. Der Bogen mufs

[1] van Genderen Stort, *Akad. zu Amsterdam.* Sitzung 28. Juni 1884.

so eingerichtet sein, dafs in ihm keine selbständige elektromotorische Kraft ihren Sitz hat, namentlich nicht an den Stellen, wo die feuchten Leiter, die zunächst den thierischen Theilen anliegen, an die metallischen Elektroden stofsen, die das Ende des Galvanometerdrahtes bilden. Der Strom geht im ungereizten Zustande des Nerven vom Längsschnitt durch den Bogen zum Querschnitt. Diesen Strom bezeichnet E. du Bois Reymond als den ruhenden Nervenstrom. Er verschwindet, wenn der Nerv abstirbt.

Um die galvanische Polarisation bei solchen Versuchen möglichst zu vermeiden, werden nach des genannten Autors neueren Vorschriften[1] die Enden der Multiplicatorleitung mit zwei kleinen amalgamirten Zinkplättchen versehen, die in Glasröhren mit concentrirter Lösung von Zinksulphat gefüllt stecken, an ihrem unteren Ende verengert und durch Pfröpfe von plastischem Thon geschlossen sind. Der Thon ist mit 0,75 bis 2 procentiger Kochsalzlösung durchtränkt, weil dies eine Flüssigkeit ist, deren Berührung den Lebenseigenschaften der thierischen Gewebe sehr wenig nachtheilig ist. Bei den Versuchen über Ströme der Netzhaut hat neuerdings Herr W. Kühne noch feine Membranstücke der Froschlunge über den Thon gebreitet.

Wenn der Nerv, von dessen Querschnitt der Strom abgeleitet wird, gereizt wird, sei es durch eine Reihe hin- und hergehender elektrischer Inductionsströme, sei es in andrer Weise, so tritt eine Verminderung des Stromes, beziehlich Umkehr desselben ein, die negative Schwankung des Nervenstroms. Dieselbe schwindet ebenfalls beim Absterben des Nerven, pflanzt sich im lebenden Nerven mit derselben Geschwindigkeit fort, wie die Reizung, und zwar nach aufwärts, wie nach abwärts, und ist nach allem, was wir darüber wissen, die stete Begleiterin des Eintritts der Reizung. Beim Aufhören der Reizung schwindet sie wieder ziemlich schnell, indem der Strom des ruhenden Nerven wieder eintritt.

Die beschriebenen Erscheinungen sind nach den Untersuchungen von Herrn W. Kühne auch am Stamm des Sehnerven zu beobachten, ganz in derselben Weise wie an den motorischen Nerven, und es ist ihm sogar gelungen die negative Schwankung am Sehnerven des Frosches bei Reizung der Netzhaut durch Licht nachzuweisen. Der Versuch wird nur schwierig durch die Kleinheit der Objecte und die Nothwendigkeit die subtile Präparation bei schwacher Beleuchtung mit rothem Licht oder Natronlicht in einem übrigens dunklen Raum schnell zu vollenden, da eines der zwischen Netzhaut und Sehnerven eingeschalteten Gebilde verhältnifsmäfsig schnell seine Reizbarkeit verliert, während die genannten Organe selbst ziemlich ausdauernd sind.

Die Sehnerven gröfserer Fische (Barsch, Hecht) lassen sich bequemer präpariren; aber die Reizbarkeit der Augen ist nicht so ausdauernd, wie

[1] E. du Bois-Reymond, *Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken.* Abhandl. d. Akad. zu Berlin. 1862. Phys. Cl. S. 65; auch in *Gesammelte Abhandlungen zur Muskel- u. Nervenphysik.* Bd. I. Berlin 1875. S. 145—168.

die der Frösche, deren Sehnerven bei den gröfsten Exemplaren nur 4 bis 5 mm lang ist. Bei letztern ist es Herrn Kühne gelungen, indem er die Elektroden nur am Längsschnitt und Querschnitt des Sehnerven verlegte, eine allerdings kleine negative Schwankung bei Einwirkung des Lichts auf den Bulbus von der Hornhaut her zu beobachten. Der einzige Unterschied der sich zeigte war eine meist noch bei Unterbrechung der Beleuchtung eintretende kurze Verstärkung der negativen Schwankung, nach welcher erst der Ruhezustand wieder eintrat. Herr Kühne bezeichnet dies als die negative Schlufsschwankung. Sie schwindet im Laufe des Absterbens eher als die gewöhnliche negative Schwankung, die wir von den Muskelnerven kennen.

Auffallendere Abweichungen von dem Gesetze der Muskelnerven zeigt die Netzhaut, der auch in ihrer elektrischen Wirksamkeit eine ungemein feine Empfindlichkeit zukommt, welche sich sogar im isolirten Zustande als ziemlich ausdauernd erweist.

Der Ruhestrom der Netzhaut, wenn man die Elektroden an die entgegengesetzten Seiten der Membran anlegt, geht von der vorderen Seite, wo die Sehnervenfasern liegen, durch den leitenden Bogen zur Stäbchenseite. Er hat also die Richtung des Stromes der ruhenden motorischen Nerven, wenn wir die Ausbreitung der Sehnervenfasern als die hier wirksame Faserschicht betrachten, die hinteren Schichten der Netzhaut als deren natürliche Querschnitte.

Betrachten wir diese Richtung des Ruhestromes als die positive Richtung der Netzhautströme, so giebt plötzliche Belichtung der Netzhaut des Frosches, sei es mit blauem, grünem, gelbem, rothem oder weifsem Lichte, erst einen ganz kurzen Ausschlag in positivem Sinne, dann eine negative Schwankung, welche eine verhältnifsmäfsig constante Ablenkung des Galvanometers hervorbringt, die nur langsam bei gleichmäfsig andauernder Belichtung sich dem ursprünglichen Ruhezustande wieder nähert, Diese negative Schwankung ist nicht nothwendig absolut negativ, d. h. die Stromstärke geht nach Ablauf des anfänglichen positiven Ausschlags allerdings zurück, aber sie bleibt dann gerade bei den frischesten Präparaten oft bei einem höher positiven Werthe als dem des Ruhestromes stehen. Bei abnehmender Reizbarkeit schwindet der positive Vorschlag und tritt die negative Schwankung ohne einen solchen ein. Dasselbe geschieht, wenn die Thiere vor dem Versuch im Hellen gesessen haben.

Wenn man die Beleuchtung plötzlich unterbricht, so tritt erst wieder ein kurzer positiver Ausschlag ein, ehe die Netzhaut auf den Ruhestrom zurückkehrt. Auch dieser positive Nachschlag fehlt den Muskelnerven und schwindet bei abnehmender Reizbarkeit der Netzhaut in der Regel erst später, als der positive Vorschlag bei beginnender Reizung.

An Kaninchenaugen haben Holmgren wie Kühne nur das Stadium der einfachen negativen Schwankung ohne positiven Vorschlag gesehen; wohl aber kam der Nachschlag vor.

Das Pigmentepithel der Netzhaut scheint keine elektromotorische Kraft zu haben. Die Netzhaut mit Pigment bedeckt wirkt ebenso, wie ohne dasselbe, das Pigment ohne Netzhaut auf der Aderhaut haftend, zeigt keinerlei elektrische Änderung bei eintretender Beleuchtung.

Die Lichtempfindlichkeit der isolirten Netzhaut kann noch erstaunlich grofs sein. Herr Kühne hat negative Schwankung durch eine glimmende Cigarre 50 cm entfernt erhalten, ebenso durch das von seinem Gesicht zurückgeworfene Licht einer Kerze, ja sogar durch das Phosphorescenzlicht der jetzt käuflichen Leuchtfarbe.

Spuren der Lichtempfindlichkeit fanden sich bis 24 Stunden nach der Isolation der Netzhaut des Frosches, wenn sie in der feuchten Kammer und im Dunkeln aufbewahrt war.

Der ganze Bulbus zeigt bei Fröschen auf Lichteinwirkung im frischesten Zustande nur das Auftreten eines andauernden positiven Stroms, dem bei Aufhören der Belichtung der positive Nachschlag und Rückgang in die Ruhelage folgt. Erst beim Absterben oder nach Mifshandlung fängt die negative Schwankung an sich zu zeigen.

Im Innern des ausgeschnittenen Bulbus verliert die Netzhaut ihre Erregbarkeit, namentlich schnell auch durch Belichtung, während sie isolirt, in Berührung mit dem Sauerstoff der Luft, sich wieder erholen kann.

Die Bulbusströme bleiben unverändert, auch wenn man die ganze vordere Hälfte der Augenkapsel mit der Iris wegnimmt, ja selbst die Zonula ausschneidet und die Linse vorsichtig entfernt. Erst wenn man an der Zonula zerrt, etwas Glaskörper abfliefsen läfst, oder hineinbläst, tritt die negative Schwankung der Netzhautströme hervor. Diese scheint deshalb von einer Störung des natürlichen Zusammenhanges der Netzhaut herzurühren; Herr Kühne vermuthet eine Störung ihrer Verbindung mit dem regenerirenden Pigmentepithel.

Eine einigermafsen ähnliche Erscheinung kommt beim gewöhnlichen Strome des ruhenden Muskels vor, der von den Sehnenflächen aus, die nach E. du Bois-Reymond den natürlichen Querschnitt des Muskels bilden, verhältnifsmäfsig schwach elektromotorisch gegen den Längsschnitt wirkt, ehe der Querschnitt in irgend einer Weise verletzt, und in seinem Absterben beschleunigt ist. Der genannte Autor schliefst daraus, dafs in den Enden der Muskelfasern unter der Sehnenfläche eine eigenthümlich wirkende Schicht von elektromotorisch wirksamen Molekeln liege, die er die parelektronomische Schicht nennt, die, so lange sie kräftig wirksam ist, die übrigen elektrischen Anordnungen des ruhenden Muskels nach aufsen hin nahezu unwirksam macht. Diese macht aber die negative Stromesschwankung bei der Reizung nicht aus.

In der Netzhaut müfste die leicht zerstörbare Schicht die Schwankung bei der Reiznng mitmachen, so dafs sie die negative Schwankung der dauerhafteren Elemente nach aufsen hin verdeckt, so lange sie kräftig ist.

Bei den Fischen ist die Schwankung auf Belichtung von Anfang negativ, und sogar im Anfang am stärksten, so daſs Herr Kühne in seinen Figuren einen stärker negativen Vorschlag anzeigt.

Wenn die bei diesen Erscheinungen sich zeigenden entgegengesetzt gerichteten Wirkungen nicht ganz gleich schnell eintreten und aufhören, könnten sich daraus auch die Vorschläge und Nachschläge bei Eintritt und Aufhören der Reizung erklären, die von den Erscheinungen an den Nervenstämmen abweichen. Zur Zeit ist es noch nicht möglich in einem Gebilde von so verwickeltem Bau, wie es die Netzhaut ist, in der überdieſs verschiedene nach verschiedenen Richtungen hin elektromotorisch wirkende Theile von verschiedenem Grade der Verletzbarkeit vorkommen, den Einfluſs, den die einzelnen haben, von einander zu sondern. Zunächst aber ist die wichtige Thatsache festgestellt, daſs Änderungen in der elektromotorischen Wirksamkeit auf Reizung im Sehnerven und in der Netzhaut ebensogut, wie in den Nervenstämmen und Muskeln erfolgen. Diese Vorgänge, sowie die beobachteten chemischen Änderungen und Bewegungen sichtbarer Theilchen zeigen, daſs auch in der Netzhaut durch das Licht zunächst Wirkungen auf die ponderablen Theile derselben hervorgebracht werden, ähnlich denen, die in den gereizten Muskeln und Nervenstämmen vorgehen. Da elektrische Ströme die feuchten thierischen Gebilde nicht durchflieſsen können, ohne elektrische Zersetzungen hervorzurufen und die Jonen in ihrem Sinne wandern zu lassen, so ist auch von dieser Seite her der Eintritt chemischer Bewegungen während der Lichtwirkung constatirt.

Die Erscheinungen des blinden Flecks wurden von Mariotte entdeckt, der 222
mit der Absicht an diese Versuche ging, zu untersuchen, welcher Art das Sehen auf der Eintrittsstelle des Sehnerven sei. Der Versuch erregte damals solches Aufsehen, daſs er ihn 1668 vor dem Könige von England wiederholte. Picard gab dem Versuche eine Form, bei der man beide Augen offen halten kann, und doch eine Sache nicht sieht. Zu dem Ende befestigte er an einer Wand ein Papier, stellte sich in die Entfernung von etwa 10 Fuſs davon, und lieſs die Augen nach dem nah vor das Gesicht gehaltenen Finger convergiren, so daſs in beiden Augen das Bild auf den blinden Fleck fällt, und deshalb gar nicht gesehen wird, während es sonst unter diesen Umständen doppelt erscheint. Mariotte überbot ihn, indem er bei zwei offenen Augen zwei Objecte verschwinden lieſs. Man befestigt an der Wand zwei Papiere gleich hoch, drei Fuſs von einander, stellt sich 12 bis 13 Fuſs von der Wand entfernt, hält den Daumen etwa 8 Zoll weit vom Auge, so daſs er dem rechten Auge das linke Papier, dem linken Auge das rechte Papier verdeckt, und fixirt den Daumen, dann verschwinden auch die beiden Papiere, weil sie in demjenigen Auge, dem sie nicht verdeckt sind, auf den blinden Fleck fallen. Le Cat versuchte auch schon die Gröſse des blinden Flecks auf der Netzhaut zu berechnen, wobei er ihn freilich viel zu klein, nämlich $^1/_5$ bis $^1/_4$ Linie fand. Daniel Bernouilli zeichnete seine Form auf den Fuſsboden, indem er eine Münze auf den Fuſsboden eines Zimmers legte, ein Pendel nahm, dessen eines Ende er an das rechte Auge hielt, und das andere den Boden fast berühren lieſs. Das linke Auge verschloſs er, mit dem rechten sah er am Pendel herunter, und suchte nun die Stellen auf dem Fuſsboden auf, wo die Münze anfing unsichtbar zu werden; er fand eine fast elliptische Figur. Die Berechnung der Gröſse des blinden Flecks auf der Netzhaut lieferte ihm aber wegen ungenügender Kenntniſs der optischen Constanten des Auges einen zu hohen Betrag, nämlich $^1/_7$ des Augendurchmessers.

Es knüpft sich an die Entdeckung von MARIOTTE sogleich eine weitläufige Dis-cussion über eine Frage, die bei den damaligen geringen Kenntnissen der Nervenleistunge natürlich gleich entstehen mufste, nämlich die Frage, ob denn überhaupt die Netzhaut es sei, wie KEPPLER und SCHEINER vorausgesetzt hatten, welche das Licht empfände MARIOTTE schlofs, dafs es vielmehr die Aderhaut sei, denn diese fehlt im blinden Flecke während die Fasern der Netzhaut dort gerade recht dicht zusammenliegen. In der Tha schlossen sich eine Reihe namhafter Optiker der Meinung von MARIOTTE an, wie MERY LE CAT, MICHELL, unter den Neueren D. BREWSTER. Es wurde namentlich hervorgehoben dafs die Netzhaut das Licht wegen ihrer Durchsichtigkeit nicht zurückhalte, dafs sie zu dick sei, um ein scharfes Bild zu geben; auch suchte LE CAT nachzuweisen, dafs di Aderhaut eine Fortsetzung der *Pia Mater* des Gehirns sei. Die Lichtempfindlichkeit de Netzhaut wurde vertheidigt, durch PECQUET, DE LA HIRE, HALLER, PORTERFIELD, PER-RAULT, ZINN. Der Hauptgrund für die Meinung dieser Männer war eigentlich imme nur, dafs die Netzhaut die anatomische Entfaltung eines mächtigen Nerven ist, währen die Aderhaut nur wenige dünne Nerven enthält. Was sie sonst von Gründen beibringe konnten, um ihre Meinung zu stützen und die Schwierigkeiten des MARIOTTE'schen Ver-suchs zu beseitigen, war nicht viel werth. PORTERFIELD nahm an, dafs der Sehnerv, a seiner Eintrittsstelle noch von den sehnigen Nervenscheiden umgeben und durchzogen nicht weich und zart genug sei, um ein so feines Agens, wie das Licht sei, zu empfinder HALLER hebt ebenfalls hervor, dafs an der Eintrittsstelle des Sehnerven keine eigentlich Netzhaut vorhanden sei, sondern eine weifse cellulöse und poröse Haut, die zum Sehe untauglich sein könne, ohne dafs die Netzhaut es sei. Andere, wie RUDOLPHI, anfang auch COCCIUS, glaubten, dafs die unempfindliche Stelle nur den Centralgefäfsen der Seh-nerven entspräche, was aber widerlegt wurde, sobald man die optischen Constanten de Auges besser kennen lernte, z. B. durch HANNOVER, E. H. WEBER, A. FICK und P. DU BOIS REYMOND. J. MÜLLER glaubte die Erscheinung durch die Annahme erklären zu könne dafs die MARIOTTE'sche Erscheinung analog sei dem Verschwinden der Bilder gefärbte
223 Objecte, die auf weifsem Grunde liegen auf den Seitentheilen der Netzhaut, worauf wi in § 23 zurückkommen werden. Es geschieht dies durch Ermüdung der Netzhaut. An der Eintrittsstelle des Sehnerven, meinte er, geschehe es nur sehr viel schneller un plötzlicher. Dagegen ist einzuwenden, dafs ein helles Object, welches in dem ungesehene Raume des Gesichtsfeldes plötzlich auftaucht, gar nicht wahrgenommen wird, also auc die Sehsinnsubstanz gar nicht reizt, also auch nicht ermüden kann.

Die oben gegebenen nothwendigen Folgerungen aus den Thatsachen stellte Referen im Jahre 1851 auf, und dehnte den Schlufs, dafs das objective Licht unfähig sei, d Sehnervenfasern zu afficiren, auch gleich auf die an der vorderen Fläche der Netzhau verlaufenden Fasern aus. Da ein anatomischer Zusammenhang der Stäbchenschicht m den Nervenelementen der Netzhaut damals noch nicht bekannt war, so blieb nur d Annahme, dafs die Nervenzellen oder Körner der Netzhaut die lichtempfindenden El-mente seien. Bald darauf entdeckte H. MÜLLER die Radialfasern der Netzhaut, welc die Zapfen und Stäbchen mit den Elementen verbinden, KOELLIKER wies dieselben a Menschen nach, und beide schlossen daran die Vermuthung, dafs die Elemente d Stäbchenschicht die lichtempfindlichen seien, für welche schliefslich von H. MÜLLER auc der physiologische Beweis gegeben wurde. Dieselbe Ansicht war übrigens, freilich oh genügende Kenntnifs der mikroskopischen Elemente, früher von TREVIRANUS aufgestel worden, der die lichtempfindlichen Elemente Nervenpapillen nannte.

Die Genauigkeit des Sehens hat man viel untersucht seit der Zeit, wo man anfi Teleskope zu bauen. HOOKE wendete gleich zuerst das richtige Princip an, indem untersuchte, bei welchem Winkelabstande Doppelsterne als solche erkannt werden könne Die meisten folgenden Beobachter dagegen suchten nach der kleinsten Gröfse ein schwarzen Flecks, der noch erkannt werden könnte, und erhielten natürlich sehr a weichende Resultate, so HEVELIUS, SMITH, JURIN, TOB. MAYER, COURTIVRON, MUNCKE, TR-VIRANUS. Den Einflufs der Erleuchtung bei diesen Versuchen erkannten JURIN u MAYER. Ersterer glaubte die Thatsache, dafs zwei Striche von einander zu trennen, er

…i einem gröfseren Sehwinkel möglich sei, als jeden einzelnen von ihnen zu erkennen, …raus zu erklären, dafs das Auge zitterte und deshalb die Bilder zweier Stäbe sich …ckten. Die Gründe, warum nur die Trennung distincter Objecte ein constantes Maafs …ben kann, entwickelte VOLKMANN, und nach dieser Methode wurden Messungen von …. H. WEBER, BERGMANN, MARIÉ DAVY und die oben angeführten ausgeführt.

Für die Entdeckung des Sehpurpurs sind im Text schon die hauptsächlichsten Lit- *n* …raturnachweise gegeben. Die übrigen werden in der vollständigen Litteraturübersicht …n Schlusse des Werkes folgen.

Die Reizungsströme der Netzhaut wurden von HOLMGREN[1] 1870 gefunden, unabhängig …n ihm (1874) auch von den Herrn DEWAR und M'KENDRICK[2]. Die feinere Ausarbeitung …ieses Gegenstandes, welche erst unter Berücksichtigung der mittels des Sehpurpurs con…atirten grofsen Lichtempfindlichkeit der Netzhaut, und unter Anwendung der dabei …fundenen Methoden sie unversehrt zu halten, möglich wurde, verdanken wir haupt…ächlich Herrn W. KÜHNE[3].

§ 19. Die einfachen Farben.

Wir gehen jetzt über zur Untersuchung der Empfindungen, welche ver- *224* …chiedenartiges Licht im Sehnervenapparat erregt. Es giebt, wie wir schon …n § 8 auseinandergesetzt haben, Licht von verschiedener Schwingungsdauer, …elches sich aufserdem in physikalischer Beziehung durch seine Wellenlänge, …eine Brechbarkeit und Absorptionsfähigkeit in gefärbten Mitteln unterschei…et. In physiologischer Beziehung unterscheidet sich Licht von verschiedener …chwingungsdauer im Allgemeinen dadurch, dafs es im Auge die Empfindung …erschiedener Farben erregt.

Fast alle Lichtquellen, welche wir kennen, entsenden gleichzeitig Licht …erschiedener Schwingungsdauer. Um aus solchem gemischten Lichte ein…aches Licht, d. h. Licht von einem *225* …inzigen Werthe der Schwingungsdauer …uszusondern, ist die Brechung in durch…ichtigen Prismen das vollkommenste …Iittel. Wenn von einer entfernten Licht…uelle *a* (*Fig. 123*) einfaches blaues …icht durch ein Prisma *P* in das Auge …es Beobachters *O* fällt, so werden die …ichtstrahlen im Prisma gebrochen, von …hrem früheren Wege abgelenkt, und der …eobachter erblickt daher das Bild der …ichtquelle verschoben in der Richtung, nach welcher der brechende Winkel … des Prisma gekehrt ist, etwa bei *b*, natürlich in der Farbe des Lichts,

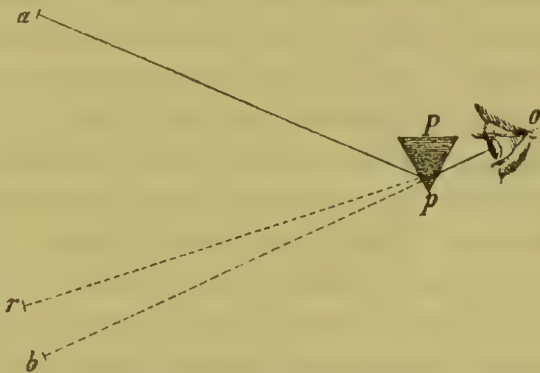


Fig. 123.

[1] F. HOLMGREN, *Upsala Läkareförenings Förhandlingar.* Vol. VI. 1870—71. No. 5. p. 419. Auch in …*ntersuchungen aus dem Physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg.* Bd. III. S. 278.

[2] DEWAR und M'KENDRICK, *on the Physiological action of light. Transact. of the R. Society of Edinburgh.* …ol. XXVII. p. 141.

[3] W. KÜHNE, *Untersuchungen aus dem Physiologischen Institute d. Univ. Heidelberg.* Bd. III. S. 327—377. …1880.) Bd. IV. S. 1 bis 106 (1881).

welches von *a* ausgegangen ist, hier also blau. Fällt einfaches Licht anderer Brechbarkeit, etwa rothes, von *a* durch das Prisma in das Auge des Beobachters, so sieht er wieder ein Bild der Lichtquelle, jetzt roth, und weniger weit verschoben, als das blaue war, etwa bei *r*. Geht gleichzeitig rothes und blaues Licht von *a* aus, so sieht der Beobachter auch gleichzeitig das rothe Bild bei *r* und das blaue Bild bei *b*; und geht endlich weifses Licht von *a* aus, welches sowohl rothes, als blaues, als auch Licht von allen anderen Stufen der Brechbarkeit enthält, so entspricht jeder einzelnen Farbe ein besonderes Bild der Lichtquelle, und zwar so, dafs die Bilder der zwischen roth und blau liegenden Farben sich nach der Ordnung ihrer Brechbarkeit zwischen *r* und *b* einreihen. Sind sehr viele solche farbige Bilder zwischen *r* und *b* eingeschoben, und hat jedes eine gewisse Breite, die der Breite des leuchtenden Objects bei *a* nahehin gleich ist, so wird jedes einzelne farbige Bild einen Theil seiner Nachbarbilder verdecken. Auch ist leicht einzusehen, dafs es desto weniger die Nachbarbilder decken und sich mit ihnen vermischen wird, je schmaler das leuchtende Object ist, und je schmaler daher auch jedes einzelne farbige Bild wird, verglichen mit der ganzen Länge des Spectrum *r b*. Wenn in dem von der Lichtquelle ausgehenden Lichte Strahlen von allen continuirlich in einander übergehenden Stufen der Brechbarkeit vorkommen, kann man zwar nicht vollständig verhindern, dafs die nächst benachbarten Bilder der Lichtquelle sich decken, aber man kann die Lichtquelle und ihre Bilder so schmal machen, dafs sich nur noch solche Bilder decken, welche Farben angehören, für welche die Unterschiede der Brechbarkeit verschwindend klein sind.

Wenn die Lichtquelle ein sehr feiner Spalt ist, durch den zusammengesetztes Licht fällt, so bildet jeder einzelne Punkt des Spaltes nach der eben gemachten Auseinandersetzung ein linienförmiges Spectrum. Das prismatische Bild des ganzen Spaltes erscheint demnach dem Beobachter als ein farbiges Rechteck, dessen der Lichtquelle zugekehrtes Ende roth, das entgegengesetzte violett ist. Dazwischen finden sich allmälig in einander übergehend eine Reihe anderer Farben, nämlich, vom Roth anfangend, zunächst Orange, dann Gelb, Grün, Blau, endlich Violett. Man nennt ein solches durch das Prisma mit getrennten Farben entworfenes Bild einer Lichtlinie
226 ein prismatisches Spectrum, und zwar ist es, nach der bisher beschriebenen Beobachtungsweise entworfen, ein subjectives Spectrum, da es nur einem virtuellen Bilde der Lichtquelle entspricht. Man kann es aber auch zu einem reellen Bilde machen, indem man hinter das Prisma da, wo sich bisher das Auge des Beobachters befand, eine Sammellinse aufstellt, welche die durch das Prisma gebrochenen Lichtstrahlen zu einem reellen Bilde von *r b* in oder hinter ihrem Brennpunkte vereinigt. So erhält man ein objektives Spectrum. Ein solches wird schon bei der ersten Beobachtungsweise auf der Netzhaut des Beobachters entworfen. Wenn das von der Lichtquelle ausgehende Licht alle continuirlich in einander übergehende Grade der Brechbarkeit darbietet, ist, wie wir gesehen haben, auch da

pectrum eine continuirlich beleuchtete Fläche. Wenn aber von der ichtquelle nur Licht von bestimmten einzelnen Werthen der Brechbarkeit usgeht, so kann das Spectrum auch nur so viele einzelne verschiedenfarbige ilder der Lichtquelle enthalten, als Grade der Brechbarkeit unter den trahlen vorkommen, und man wird dann die Lichtquelle und ihre Bilder so hmal machen können, dafs das jeder Farbe angehörige Bild von seinen achbarn durch einen dunklen Zwischenraum getrennt ist. So haben wir orher angenommen, dafs nur rothes und blaues Licht in dem Lichte des unktes *a Fig. 123* vorkäme, und gesehen, dafs dann bei *b* ein blaues ild, bei *r* ein rothes erscheint, beide durch den dunklen Zwischenraum *b r* on einander getrennt. Dasselbe ist natürlich der Fall, wenn nicht zwei, ondern zehn oder hundert oder tausend verschiedene Arten einfachen Lichtes dem Lichte von *a* vorkommen.

Von dieser Art ist die Zusammensetzung des Sonnenlichts. Wenn wir in möglichst vollkommenes Spectrum des Sonnenlichts herstellen, finden wir s von einer grofser Zahl dunkler Linien getheilt, den Fraunhofer'schen inien, aus deren Vorhandensein wir schliefsen müssen, dafs gewisse Stufen er Brechbarkeit unter den Strahlen des Sonnenlichts nicht vorkommen. e vollkommener die Trennung der Farben im Spectrum ist, desto gröfser t auch die Zahl der dunkeln Linien. Die stärksten von ihnen sind von raunhofer und Stokes mit Buchstaben bezeichnet worden, weil sie ein ufserordentlich sicheres und bequemes Mittel abgeben, im Spectrum Strahlen on genau bestimmten Werthen der Schwingungsdauer und Brechbarkeit mmer wieder zu finden, und wir werden uns deshalb im Folgenden auch ieser Bezeichnung bedienen, so oft es darauf ankommt, die Art einer Farbe enau zu bestimmen. Auf *Taf. II, Fig. 2* ist das Sonnenspectrum mit seinen unkeln Linien abgebildet. Da die einzelnen Theile des Spectrums bei rismen aus verschiedenen Stoffen verschiedenes Längenverhältnifs haben, nd wieder ein ganz anderes Verhältnifs in den durch Diffraction erzeugten pectren, wo die Vertheilung der Farben nur von ihrer Wellenlänge abhängt, o ist die Vertheilung der Farben in einer solchen Zeichnung bis zu einem ewissen Grade willkührlich. In unserer Abbildung ist die Anordnung, wie s für die physiologischen Betrachtungen am wichtigsten schien, nach dem rincipe der musikalischen Scale getroffen, so dafs Farben, deren Wellenängen sich zu einander verhalten wie die zweier um ein halbes Tonintervall erschiedener Töne, überall gleich weit von einander entfernt sind. Mathenatisch ausgedrückt, entsprechen also gleiche Distanzen in der Zeichnung leichen Unterschieden der Logarithmen der Schwingungsdauer. Die Ziffern 227
uf der einen Seite bezeichnen die Anzahl der halben Tonintervalle, die uchstaben auf der anderen bezeichnen die Namen der stärkeren dunkeln inien, wie sie von Fraunhofer und Stokes gewählt worden sind.

Da in der Benennung der verschiedenen Farben einige Unsicherheit herrscht, wollen wir für das vorliegende Werk folgendes darüber estsetzen:

Roth nenne ich die Farbe des weniger brechbaren Endes des Spectrum, welche von der äufsersten Grenze desselben bis etwa zur Linie *C* keine merkliche Änderung des Farbentons zeigt. Der Repräsentant unter den Farbstoffen ist etwa der Zinnober. Von ihm zu unterscheiden ist das Purpurroth, welches in seinen weifslicheren Abstufungen Rosenroth wird und dem reinen Roth gegenüber bläulich erscheint. Dieser Farbenton, für dessen gesättigteste Abstufung wir den Namen Purpur bewahren wollen, während die röthlicheren Abstufungen desselben Karminroth heifsen mögen, kommt im Spectrum nicht vor, sondern kann nur durch Mischung seiner äufsersten Farben, des Roth und Violett, hervorgebracht werden.[1]

Von der Linie *C* bis zur Linie *D* geht das Roth über durch Orange, d. h. Gelbroth mit überwiegendem Roth, in Goldgelb, d. h. Gelbroth mit überwiegendem Gelb. Ersterem entspricht unter den metallischen Farbstoffen etwa die Mennige, letzterem die Bleiglätte (Bleioxyd).

Von *D* bis zur Linie *b* hin finden wir sehr schnelle Farbenübergänge. Zunächst folgt ein sehr schmaler Strich reinen Gelbs, welcher etwa dreimal so weit von *E* als von *D* absteht. Dann folgt Grüngelb und zwischen *E* und *b* reines Grün. Für das reine Gelb und Grün haben wir zwei sehr gute Repräsentanten unter den Malerfarben, nämlich für ersteres das fein niedergeschlagene, hellere chromsaure Bleioxyd (Chromgelb) und für das letztere das arsenigsaure Kupferoxyd (Scheel'sches Grün).

Zwischen *E* und *F* geht das Grün durch Blaugrün in Blau über, zwischen *F* und *G* folgen verschiedene Töne des Blau. Wegen der verhältnifsmäfsig grossen Breite der blauen Töne in dem durch Brechung erzeugten Spectrum des Sonnenlichts hat Newton hier verschiedene Namen angewendet, englisch: *blue* und *indico*, lateinisch der Reihe nach *thalassinum, cyaneum, coeruleum, indicum,* worauf dann Violett, *violaceum*, folgt. Wir können den Namen Indigblau beibehalten für die nach *G* hinliegenden zwei Drittheile des Raumes *FG*. Für das weniger brechbare Blau des ersten Drittel von *FG* hat man bisher meist einfach den Namen Blau angewendet, auch wohl unrichtig Himmelblau, aber die Ähnlichkeit mit dem Himmelblau bekommt dieses Blau in einem Spectrum von bequemer Helligkeit nur durch die gröfsere Lichtstärke, während das Indigblau, dem der Farbenton des blauen Himmels angehört, in einem solchen Spectrum für diesen Vergleich zu dunkel erscheint. Da nun der gemeine Sprachgebrauch den reinen Himmel als den Hauptrepräsentanten des Blau betrachtet, und ihm den Namen des Blau bewahrt, wenn er es mit weniger brechbarem Blau vergleicht und letzteres bei einem solchen Vergleiche als grünlich bezeichnet, so können wir im wissenschaftlichen Sprachgebrauche nicht wohl das letztere einfach als Blau im Gegensatz zum Indigblau bezeichnen, und ich habe deshalb den
228 Namen Cyanblau dafür gewählt mit Rücksicht auf die Bezeichnung *cyaneum* bei Newton für die grünlich blauen Töne des Spectrum. Zur Bezeichnung

n [1] In den Schriften von Herrn E. Hering und seinen Anhängern ist unter Roth immer Purpurroth verstanden.

‹s Farbentons allein würde auch der Namen Wasserblau gut passen, denn ›osse Massen sehr reinen Wassers (Genfer See, Gletschereis) zeigen in ›rem Innern in der That diese Farbe. Hat man z. B. längere Zeit in das ›asser des Genfer Sees an einem hellen Tage geblickt, und sieht zum ›immel auf, so erscheint dieser im Contrast violett, oder selbst rosaroth. ›a indessen die Farbe der gewöhnlich gesehenen Wassermassen sehr weifslich ›t, mit Ausnahme etwa tiefer Eisspalten, so ziehe ich vor, den Namen ›asserblau nur für die weifslichen Abstufungen des Cyanblau anzuwenden. ›nter den Farbstoffen entspricht das Berliner Blau (Eisencyanürcyanid) dem ›yanblau, das Ultramarin dem Indigblau.

Jenseits der Linie *G* bis nach *H* oder *L* folgt Violett (Farbe der ›eilchen); es ist von manchen Schriftstellern auch Purpur genannt worden. ›iolett und Purpur bilden den Übergang der Farbentöne von Blau und ›oth. Wir wollen, wie gesagt, den Namen Purpur nur auf die röthlicheren ›arbentöne dieses Übergangs anwenden, welche im Spectrum nicht vorkommen.

Schliefslich folgt als Ende des Spectrum auf der brechbarsten Seite das ›ltraviolett. Dieser Theil von *L* bis zum Ende bei *R* kann nur gesehen ›erden, wenn die bisher beschriebenen helleren Theile des Spectrum sehr ›rgfältig abgeblendet sind. Die Anwesenheit von Lichtstrahlen besonderer ›rt an dieser Stelle lernte man zuerst durch die chemischen Wirkungen ›erselben kennen, und nannte sie deshalb unsichtbare chemische Strahlen. ›ı Wahrheit sind diese Strahlen aber nicht unsichtbar, wenn sie auch aller- ›ings das Auge verhältnifsmäfsig viel schwächer afficiren, als die Strahlen ›es mittleren leuchtenden Theils des Spectrum zwischen den Linien *B* und *H*. ›obald man die letzteren durch geeignete Apparate vollständig entfernt, sind ›ie ultravioletten Strahlen dem Auge ohne Schwierigkeit sichtbar, und zwar ›is zum Ende des Sonnenspectrum. Ihre Farbe ist bei geringer Licht- ›ıtensität indigblau, bei gröfserer Intensität bläulich grau. Am leichtesten ›achgewiesen wird die Anwesenheit dieser Strahlen durch das Phänomen ›er Fluorescenz. Beleuchtet man nämlich mit ultraviolettem Lichte eine ›lare Lösung von saurem schwefelsaurem Chinin, so geht von allen Punkten ›ieser Lösung, welche von dem ultravioletten Lichte getroffen werden, weifs ›läuliches Licht nach allen Richtungen aus, welches etwa wie ein leuchtender ›ebel erscheint, der die Lösung durchzieht. Untersucht man dies weifs ›läuliche Licht mit dem Prisma, so erkennt man, dafs es nicht ultraviolettes ›icht ist, sondern gemischtes weifsliches Licht mittlerer Brechbarkeit. Am ›infachsten kann man die Erscheinung deshalb so beschreiben: So lange die ›ltravioletten Strahlen auf die Chininlösung wirken, ist diese selbstleuchtend, ›nd sendet gemischtes weifslich blaues Licht von mittlerer Brechbarkeit aus. ›a nun das Auge für Licht der letzteren Art aufserordentlich viel empfind- ›icher ist, als für ultraviolettes Licht, so nimmt es bei gewissen Graden der ›ichtstärke von letzterem nicht das geringste wahr, bis es eine fluorescirende ›ubstanz trifft, und auf dieser wird dann das bisher unsichtbare Licht ›ichtbar. Zu den Körpern, welche das Phänomen der Fluorescenz in hohem 229

Grade zeigen, gehören aufser dem Chinin noch das mit Uran gefärbte Glas, das Äsculin, Kaliumplatincyanür u. s. w.

Da wir an den fluorescirenden Substanzen keine andere Veränderung bemerken, die Fluorescenz mag noch so oft hervorgerufen werden, da auch keine Wärme dabei zu verschwinden scheint, so müssen wir aus dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft schliefsen, dafs die lebendige Kraft des durch die Fluorescenz erzeugten Lichtes nicht gröfser ist trotz seiner stärkeren Wirkung auf das Auge, als die des einfallenden ultravioletten Lichts. Genaue Untersuchungen über das Verhältnifs der Helligkeit des durch Fluorescenz veränderten und unveränderten ultravioletten Lichts sind noch nicht angestellt. Doch kann man aus gewissen Thatsachen, die später bei Beschreibung der Methoden erwähnt werden sollen, schliefsen, dafs das erstere etwa 1200 mal heller ist als das letztere. Davon, dafs die Helligkeit beider Lichter für das Auge wirklich aufserordentlich verschieden sei, überzeugt man sich auch ohne Messung, wenn man ultraviolettes Licht, welches von allem brechbareren Lichte gehörig gereinigt und in einen Focus vereinigt ist, erst auf einen nicht fluorescirenden Schirm, z. B. weifses Porzellan, und dann auf Chinin fallen läfst. Dafs das Sonnenspectrum, wenigstens nachdem das Sonnenlicht durch die Atmosphäre gegangen ist, wirklich nicht weiter reicht, als das Auge bei geeigneter Abblendung des helleren Lichts ultraviolettes Licht wahrnimmt, folgt daraus, dafs auch, wenn man durch Quarzprismen und Quarzlinsen ein objectives Spectrum auf ein Uranglas oder einen anderen fluorescirenden Körper wirft, das Phänomen der Fluorescenz nur genau ebenso weit auftritt, als das Auge ultraviolettes Licht wahrnehmen kann. Andererseits aber hat STOKES gefunden, dafs das Spectrum des elektrischen Kohlenlichts, durch Quarzapparate auf einen fluorescirenden Schirm geworfen, viel weiter reicht als das Sonnenspectrum. Seine Methode ist also in der That geeignet, auch noch brechbareres Licht sichtbar zu machen, als das Sonnenlicht enthält, und wir müssen daraus schliefsen, dafs das Spectrum des durch die Atmosphäre gegangenen Sonnenlichts wirklich da aufhört, wo das Auge und die fluorescirenden Körper die Grenze anzeigen.
n Sehr weit reichendes ultraviolettes Licht zeigen die Funken grofser Inductionsapparate zwischen Cadmiumelektroden. Bei Entladungen, die durch hoch evacuirte Räume gehen, kommen Strahlen vor, die fast alle durchsichtigen festen Körper fluoresciren machen, aber nicht durchgehen.

229 Auch am anderen Ende des Spectrum gelingt es bei sorgfältiger Abblendung des helleren gewöhnlich sichtbaren Lichts Theile des Spectrum sichtbar zu machen, die für gewöhnlich unsichtbar bleiben. Genügende Abblendung ist hier sehr leicht durch ein rothes Glas, welches man in den Weg der Lichtstrahlen einschiebt, zu erreichen. Oder da die rothen (mit Kupferoxydul gefärbten) Gläser viel Orange durchlassen, kann man nöthigenfalls zu dem rothen Glase noch ein blaues, mit Kobaltoxyd gefärbtes fügen, welches Orange absorbirt, aber das äufserste Roth ungeschwächt durchläfst. Aber es ist wenig, was man am rothen Ende durch eine solche Beobachtungsweise

ewinnt, verglichen mit der grofsen Ausdehnung des ultravioletten Spectrum. *230*
)er Streifen rothen Lichts, welcher jenseits der Linie *A* hinzukommt, hat twa die Breite des Abstandes *AB*. Der Farbenton des Roth ist bis zum ufsersten Ende hin unverändert, und nähert sich keineswegs dem Purpur.

Am rothen Ende reicht nun aber in der That das Sonnenspectrum eiter, als es vom Auge wahrgenommen wird. Bisher hat man die Anesenheit solcher überrothen Strahlen nur durch ihre Wärmewirkungen ahrnehmbar machen können, und sie deshalb dunkle Wärmestrahlen geannt. Da sie vom Glase, Wasser und vielen anderen durchsichtigen Subtanzen stärker als die leuchtenden Strahlen absorbirt werden, so mufs man teinsalzprismeu und Steinsalzlinsen anwenden, um die ganze Ausdehnung es dunkeln Wärmespectrum kennen zu lernen. Im prismatischen Spectrum st die Breite des dunkeln Wärmespectrum jedenfalls eine beschränkte, weil ämlich, der Theorie der elastischen Ätherschwingungen gemäfs, bei zuehmender Wellenlänge der Strahlen die Brechung sich einem Minimum ähert, welches nicht überchritten werden kann, und ei welchem die Dispersion er Farben aufhört. In *Fig. 124* sind als horizonale Abscissen die Wellenängen aufgetragen, und war von einem Anfangsunkte an gerechnet, der on *H* ebenso weit entfernt liegt wie der Punkt , aber in der Verlängerung ler Linie *bH*. Die Buchtaben *B* bis *H* entsprechen len Fraunhofer'schen Linien und ihrer Stellung in einem Interferenzspectrum. Als verticale Coordinaten sind die Brechungsverhältnisse für eines der von Fraunhofer benutzten Flintglasprismen aufgetragen.

Fig. 124.

Linie	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*
Brechungsverhältnifs	1,6277	1,6297	1,6350	1,6420	1,6483	1,6603	1,6711

Die Buchstaben *B*, bis *H*, bezeichnen die Stellung der dunkeln Linien in dem Spectrum dieses Flintglases. Die Grundlinie *Hb* entspricht dem Brechungsverhältnifs 1,6070, welches für diese Glasart das Minimum ist, dem sich bei steigender Wellenlänge die Brechungsverhältnisse asymptotisch nähern müssen[1]. Die punktirte Curve *H, d* drückt also die Brechbarkeit

[1] Der Werth dieses Minimum ist nach der Berechnung von Baden Powell (Pogg. XXXVII) genommen worden, dessen Interpolationsformel nahe genug mit den theoretisch abgeleiteten Formeln von Cauchy übereinstimmt.

der Strahlen als Function der Wellenlänge aus, sie würde bei weiterer
231 Fortsetzung sich asymptotisch der Grundlinie *Hb* anschliefsen. Daraus
folgt, dafs, wenn wir uns das Brechungsspectrum *H, B,* über sein rothes
Ende bei *B,* fortgesetzt denken durch dunkle Wärmestrahlen, das Spectrum
seine äufserste Grenze an der Grundlinie bei *H* finden mufs[1], welche von
B, dem Ende des gewöhnlich sichtbaren Roth, ungefähr so weit absteht,
wie *B* von *F,* der Grenze zwischen Grün und Blau, eine Entfernung, die
ungefähr der Hälfte der Länge des gewöhnlich sichtbaren Spectrum entspricht.
Übrigens fällt es in der *Fig. 124* leicht auf, wie in dem Brechungsspectrum
B,H,, wenn man es mit dem Interferenzspectrum *BH* vergleicht, die Strahlen
des blauen Endes *F, G, H,* auseinandergezogen, die des rothen Endes *B, C, D,*
aneinandergedrängt sind. Dieses Zusammendrängen der Strahlen im Brechungsspectrum mufs natürlich zunehmen, je mehr man sich im Raum der dunkeln
Wärmestrahlen der Grenze nähert. Am blauen Ende, wo das Spectrum gedehnt ist, wird dabei die Zahl der sichtbaren dunkeln Linien gröfser, und
weil die gleiche Quantität Licht oder Wärme über einen gröfseren Raum
verbreitet ist, werden Helligkeit und Erwärmung geringer. Umgekehrt am
rothen Ende wird die Zahl der sichtbaren dunkeln Linien geringer, Helligkeit und Erwärmung gröfser, als in dem Interferenzspectrum. Wenn also
auch das Wärmemaximum im prismatischen Spectrum aufserhalb des Roth
liegt, so folgt daraus nicht, dafs die dunkeln Wärmestrahlen der betreffenden
Wellenlänge in gröfserer Menge im Sonnenlicht vorhanden seien, als irgend
eine Art leuchtender Strahlen; im Gegentheil scheint im Interferenzspectrum
das Wärmemaximum auf Gelb zu fallen.

Die Bestimmung der gröfsten Wellenlängen, welche in den dunkeln
Wärmestrahlen des Sonnenlichts vorkommen, ist äufserst schwierig, eben
n wegen der beschriebenen Eigenthümlichkeiten des Brechungsspectrum. Mittels
der von ihm vervollkommneten photographischen Methoden hat Abney die
gröfste Wellenlänge gleich 0,0027 mm gefunden. Es ist dies mehr als die
231 dreifache Wellenlänge der äufsersten rothen Strahlen, die nach meinen
Messungen 0,00081 mm beträgt. Es zeigen übrigens diese dunkeln Wärmestrahlen die Erscheinungen der Interferenz, wie die Lichtstrahlen, woraus
folgt, dafs sie wie diese in einer schwingenden Bewegung bestehen; sie
zeigen genau dieselben Gesetze der Polarisation, woraus folgt, dafs auch in
ihnen die Schwingungsrichtung senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung ist, und
unterscheiden sich also von den leuchtenden Strahlen nur durch ihre gröfsere
Wellenlänge und die damit verbundene geringere Brechbarkeit.

Der Grund für die Unsichtbarkeit der überrothen Strahlen könnte entweder darin zu finden sein, dafs sie von den Augenmedien absorbirt werden,
oder dafs die Netzhaut für sie nicht empfindlich ist. Dafs Wasser die dunkeln

---

[1] Diese Grenze scheint nach einer Bemerkung von Fr. Eisenlohr in den Versuchen von Melloni
n wirklich erreicht zu sein. *Kritische Zeitschr. für Chemie.* Erlangen 1858. S. 229. Theoretisch ist eine
solche durchaus zu erwarten, Langley, *Phil. Magaz.* Vol. 21. p. 349 (1886), hat aber bei seinen Beobachtungen über dunkle Strahlen, die viel weiter gehen als alle bisherigen, keine solche Grenze erreicht.

Wärmestrahlen in hohem Maſse absorbirt, hat schon Melloni nachgewiesen. Mit den durchsichtigen Mitteln des Ochsenauges haben Brücke und Knoblauch Versuche angestellt. Es wurden nämlich Hornhaut, Glaskörper und Linse eines Ochsenauges in eine passende röhrenförmige Fassung so eingeschaltet, daſs Hornhaut und Linse die vordere und hintere Begrenzung 232
bildeten, der Glaskörper zwischen beiden lag. Durch dieses vollkommen durchsichtige System fiel Sonnenlicht, von einem Heliostaten in ein dunkles Zimmer geworfen, auf eine thermoelektrische Säule. Es brachte eine Ablenkung des damit verbundenen Multiplicators von 26 bis 30° hervor. Nachdem aber die beiden Seiten des Auges über einer Terpentinflamme beruſst waren, was vollkommen gut und, wie die nachherige Untersuchung zeigte, ohne alle sonstige Veränderung der Hornhaut und Linse gelang, konnte keine Wärme mehr durch das Auge hindurchstrahlen. Ruſsschichten sind aber für die dunkeln Wärmestrahlen durchgängig, nicht für die leuchtenden. Hätte also ein Theil der durch die Augenmedien gehenden Strahlen aus dunkeln Wärmestrahlen bestanden, so hätte sich von diesen auch noch nach der Berussung eine Wirkung zeigen müssen. Es läſst sich durch diesen Versuch allerdings nicht genau nachweisen, daſs die Grenzen der Sichtbarkeit des Roth mit den Grenzen der Diathermansie der Augenmedien zusammentreffen, aber jedenfalls steht fest, daſs von den unsichtbaren überrothen Strahlen wenig oder nichts mehr zur Netzhaut gelangen kann, und es scheint dieser Umstand zu genügen, um ihre Unsichtbarkeit zu erklären.

Cima[1] hat ähnliche Versuche angestellt, wobei er als Wärmequelle eine Locatelli'sche Lampe benutzte, deren Strahlen durch die Augenmedien auf eine thermoelektrische Säule fielen. Er fand, daſs die Krystallinse 13 Procent, der Glaskörper allein 9 Procent und das ganze Auge auch 9 Procent der einfallenden Wärme durchlieſs. Dasselbe fanden J. Janssen[2] und R. Franz[3]; die Absorption n
war der des Wassers sehr ähnlich. Hornhaut und Linse schienen etwas stärker zu wirken. Untersuchungen von Engelmann[4] haben ein ähnliches Resultat ergeben.

Daſs die überviolletten Strahlen die Augenmedien durchdringen 232
können, folgt direkt schon aus der Möglichkeit das überviolette Spectrum mit seinen dunkeln Linien zu sehen. Donders[5] und Rees haben objectiv nachgewiesen, daſs diese Strahlen durch Glasgefäſse, welche mit Glasfeuchtigkeit vom Ochsen gefüllt waren, und in die auch Hornhaut und Linse eingebracht wurden, ohne auffallend geschwächt zu werden, hindurchgehen. Um das ultraviolette Licht nach dem Durchgange durch die Augenflüssigkeiten sichtbar zu machen, fingen sie es auf der Fläche einer Chininlösung auf, wo es die blaue Fluorescenz hervorrief. Brücke hatte ähnliche Versuche schon früher angestellt, bei denen er die Wirkung des Lichts auf Guajak-

---

[1] Cima, *Sul potere degl umori dell' occhio a trasmettere il calorico raggionante.* Torino 1852.

[2] J. Janssen, C. R. LI. 128—131, 373—374; *Ann. de chir.* (3) XL. 71—93.

[3] R. Franz in *Poggend. Ann.* CXV. 26—279.

[4] Th. W. Engelmann, *Onderz. ged. in het physiol. Laborat. te Utrecht.* 3de Reeks D. VII. Bl. 291. 1882.

[5] F. C. Donders, *Onderzoekingen gedaan in het physiol. Laborat. te Utrecht.* Jaar VI. p. 1. *Müller's Archiv für Physiol.* 1853. S. 459.

lösung und auf photographisches Papier untersuchte, nachdem es durch die Augenmedien gegangen war.

Guajakharz, frisch aus der alkoholischen Lösung durch Eintrocknen im Dunkeln gewonnen, wird von den blauen, violetten und übervioletten Strahlen blau gefärbt, von den schwächer brechbaren wieder entbläut. Im gewöhnlichen Tageslichte überwiegt die Wirkung der bläuenden Strahlen. Tageslicht aber, welches durch die Krystallinse eines Ochsenauges gegangen ist, färbt das Harz nur gelbgrün, und eine schon gebläute Harzschicht wird durch dasselbe Licht wieder bis zu demselben Gelbgrün entbläut. Daraus folgt, dafs die Linse die bläuenden Strahlen des Tageslichts stärker absorbirt, als die nicht bläuenden. Bei starker Absorption der gewöhnlich sichtbaren blauen und violetten Strahlen müfste die Linse selbst gelblich gefärbt er-
233 scheinen. Da sie im normalen Zustande ziemlich ungefärbt erscheint, so können es unter den Guajak bläuenden Strahlen nur die übervioletten sein welche die Linse verhältnifsmäfsig beträchtlich absorbirt. Für die Hornhaut und den Glaskörper ergeben ähnliche Versuche von Brücke, dafs sie eine ähnliche Wirkung wie die Linse, aber in einem viel schwächerem Grade besitzen. Damit stimmt überein, dafs die Hornhaut und Linse des Auges, wie man auch am lebenden Auge leicht sehen kann, selbst einen ziemlichen Grad von Fluorescenz besitzen, wenn violettes oder überviolettes Licht auf sie fällt. Sie strahlen dabei weifsblaues Licht aus, ähnlich dem der Chininlösungen. Fluorescirende Körper aber absorbiren stets merklich die Strahlen, durch welche ihre Fluorescenz erregt wird.

Wenn nun auch die Versuche von Brücke lehren, dafs die ultravioletten Strahlen beim Durchgang durch die Augenmedien, namentlich die Krystalllinse, merklich geschwächt werden, wie namentlich bei der Wirkung auf Guajaktinctur sich zu erkennen giebt: so lehren andererseits doch die Versuche von Donders, dafs diese Schwächung nicht so bedeutend ist, um bei der gewöhnlichen Vergleichung der Helligkeit durch das ununterstützte Auge aufzufallen. Andererseits ist schon oben angeführt worden, dafs die Helligkeit des unveränderten ultravioletten Lichts gegen die des ungefähr gleich aussehenden durch Fluorescenz des Chinin erzeugten Lichts sich etwa wie 1 : 1200 verhält. Daraus schliefsen wir, dafs Absorption des Lichts in den Augenmedien nur zum allerkleinsten Theile Schuld sein kann an der geringen subjectiven Helligkeit des Ultraviolett, dafs diese vielmehr in einer Unempfindlichkeit der Netzhaut ihren Grund haben mufs.

Zu erwähnen ist noch, dafs der *Farbeneindruck, welchen einfaches Licht im Auge hervorruft, abhängig ist von der Lichtintensität*, in der Weise, dafs alle einfachen Farben bei gesteigerter Helligkeit sich dem Weifs oder Weifsgelb nähern. Am leichtesten geschieht dies mit dem Violett, welches sich desto mehr vom Blau entfernt und dem Purpur nähert, je lichtschwächer es ist, und im Gegentheil bei einem mäfsigen Grade von Helligkeit, wie ihn das Spectrum der Sonne im Fernrohr leicht erreicht, schon weifsgrau erscheint, und nur einen schwachen bläulich violetten

schein behält. Nach dem Vorschlag von MOSER sieht man dies auch sehr 234
gut, wenn man bei halb bewölktem Himmel sich die Sonne mit einem ziemlich dunkeln violetten Glase bedeckt. Dann erscheint die Sonnenscheibe, durch das Glas gesehen, vollständig ebenso weifs, wie, neben dem Glase vorbei gesehen, die hellbeleuchteten Wolken erscheinen. Ebenso wird das Blau des Spectrum bei geringer Helligkeit mehr indigblau, bei gröfserer himmelblau, und bei noch gröfserer, welche übrigens immer noch ohne Belästigung des Auges zu ertragen ist, weifsblau, endlich weifs. Daher die oben erwähnte fälschliche Anwendung der Benennung Himmelblau für das brechbarere und gleichzeitig lichtstärkere Cyanblau des Spectrum. Das Grün geht durch Gelbgrün in Weifs, Gelb direct in Weifs über, aber erst bei blendender Helligkeit. Roth zeigt die Erscheinung am schwersten, und nur bei den höchsten Graden der Helligkeit habe ich es sowohl im Spectrum, als durch ein rothes Glas nach der Sonne blickend, hellgelb werden sehen. Alle diese Versuche gelingen gleich gut mit sorgfältig gereinigtem einfachen, wie mit gemischtem Lichte von der betreffenden Farbe, wie es durch gefärbte Gläser gegeben wird.

Unter allen Theilen des Spectrum ist der Farbenton des violetten und überviolettten Lichts am veränderlichsten bei veränderter Lichtstärke. Um Farbentöne des brechbarsten Endes mit einander zu vergleichen, mufs man sie nahe auf gleiche Intensität bringen. Bei schwacher Helligkeit nähern sich die blauen Töne des Spectrum mehr dem Indigo, das Violett dem Rosa, wie schon angegeben wurde; etwa von der Linie L ab bis zum Ende des Spectrum findet aber eine Umkehr in der Reihe der Farben statt; der Farbenton wird nämlich nicht weiter dem Rosa ähnlicher, sondern kehrt von hier wieder zum Indigoblau zurück. Bei mäfsiger Steigerung der Lichtstärke dagegen erscheint das überviolette Licht bläulich weifsgrau, weifslicher als gleich starkes indigblaues Licht, und man hat es deshalb auch l a v e n d e l g r a u genannt.

Die Umkehr in der Farbenreihe, welche das überviolette Licht bei geringer Helligkeit zeigt, beruht wahrscheinlich nicht auf der Reactionsweise des Nervenapparats, sondern scheint dadurch bedingt zu seiu, dafs die Netzhaut selbst fluorescirt, d. h. unter der Einwirkung überviolletter Strahlen Licht niederer Brechbarkeit, und zwar solches von bläulich oder grünlich weifser Farbe aussendet. Wenigstens die Netzhaut aus dem Auge einer Leiche, welche ich selbst[1] untersuchte, und die Netzhäute aus ganz frischen Augen von eben getödteten Ochsen und Kaninchen, welche SETSCHENOW[2] untersuchte, zeigten einen freilich sehr geringen Grad von Fluorescenz, und das Licht, welches sie dabei aussandten, hatte die angegebene Farbe. Die Stärke ihrer Fluorescenz war geringer, als die von Papier, Leinwand und Elfenbein, aber erschien doch immer noch stark genug, um die Farbe, in der das überviolette Licht empfunden wird, verändern zu können. Ich

[1] H. HELMHOLTZ, *Poggend. Ann.* XCIV. 205.
[2] J. SETSCHENOW, *Graefe's Archiv für Ophthalmologie.* Bd. V. (2.) S. 205. 1859.

verglich zu diesem Ende das Licht, was durch Fluorescenz der Netzhaut erzeugt wurde, und sich von den fluorescirenden Stellen dieser Membran nach allen Seiten in den Raum hinein verbreitete, mit ultraviolettem Licht, welches diffus von einem weifsen Porzellanplättchen reflectirt wurde, also 235 ebenso wie jenes sich nach allen Seiten hin verbreitete. Die Netzhaut und das Porzellanplättchen wurden hierbei durch ein schwach brechendes Prisma angesehen, welches das veränderte von dem unveränderten ultravioletten Lichte schied. Es erschien unter diesen Umständen das durch Fluorescenz in der Netzhaut erzeugte Licht ebenso hell, wie die unveränderte ultraviolette Beleuchtung der Porzellanplatte.

n Nach den Beobachtungen von W. Kühne, die auf S. 266 angeführt sind, fluorescirt das ungebleichte Sehroth nur schwach in weifsblauer Farbe, das gebleichte Sehweifs dagegen stärker und grünlich. Die von mir und Setschenow beobachtete Fluorescenz todter Netzhäute ist die des Sehweifs gewesen. Die der lebenden Membran würde danach in der Farbe dem Lavendelgrau des ultravioletten Spectrum ganz ähnlich sein können, und es wird fraglich, ob wir diesen Theil des Spectrum vielleicht nur sehen, weil in ihm die Netzhaut fluorescirt, und dieses Fluorescenzlicht, was gröfsere Wellenlängen hat, dieselbe reizt. Nicht ausgeschlossen ist allerdings, dafs die ultravioletten Strahlen auch direct erregen. Vor Herrn Kühne's Untersuchungen hatte ich auf eine solche gemischte Erregung der Netzhaut geschlossen, und das Lavendelgrau als Mischung des direct gesehenen Violet und des grünlich weifsen Fluorescenzlichtes betrachtet.

235 Wenn man ein prismatisches Spectrum von geringer Länge betrachtet, so dafs man das Ganze gleichzeitig vor Augen hat, so erscheint es nur aus vier Farbenstreifen zusammengesetzt: Roth, Grün, Blau und Violet, während durch den Contrast mit diesen Hauptfarben ihre Übergänge fast ganz verschwinden, höchstens erkennt man noch, dafs das Grün an der Seite des Roth gelblich wird. Noch verstärkt wird die Trennung der Farben dadurch, dafs drei von den stärkeren dunkeln Linien des Sonnenspectrum D, F und G ungefähr den Grenzen der genannten vier Farben entsprechen. Aber auch, wenn man die Linien nicht erkennen kann, tritt dieselbe Scheidung der Farben ein. Bei längeren Spectris gelingt es zwar eher die Übergangsfarben zu erkennen, indessen wird doch immer der Eindruck im Auge durch die Nachbarschaft von so lebhaften und gesättigten Farben, wie sie das Spectrum zeigt, beträchtlich verändert, so dafs die Übergangsfarben nicht recht ungestört zur Erscheinung kommen. Um die Reihe der einfachen Farben genau kennen zu lernen, mufs man sie isoliren. Zu dem Ende entwirft man ein recht reines objectives Spectrum auf einem Schirme, der einen schmalen Spalt hat, so dafs nur ein schmaler Farbenstreifen des Spectrum durch den Spalt dringen und einen dahinter aufgestellten weifsen Schirm erleuchten kann. Indem man den Spalt langsam die Länge des Spectrum durchwandern läfst, bekommt man nach einander die Reihe der Farbentöne, die es enthält, einzeln zu Anschauung. Dabei zeigt sich, dafs nirgends ei-

Sprung in der Farbenreihe ist, sondern die Farbentöne continuirlich in einander übergehen. Es ist dieser Versuch gleichzeitig eines der prachtvollsten Schauspiele, welches die Optik darbietet, wegen des Reichthums, der intensiven Sättigung und der zarten Übergänge der Farbentöne.

Wegen der allmäligen Übergänge ist es auch unmöglich, den einzelnen Farben im Spectrum naturgemäfs eine bestimmte Breite anzuweisen. Um die Stelle und Vertheilung der Farben, so weit es möglich ist, zu bezeichnen, 236
will ich hier die den FRAUNHOFER'schen Linien entsprechenden Farbentöne hersetzen mit ihren Wellenlängen, letztere ausgedrückt durch Milliontel eines Millimeters:

Linie.	Wellenläuge.	Farbe.
A	760,40	Äufserstes Roth.
B	686,853	Roth.
C	656,314	Grenze des Roth und Orange.
D	{589,625 589,023	Goldgelb.
E	526,990	Grün.
F	486,164	Cyanblau.
G	430,825	Grenze des Indigo und Violet.
H	396,879	Grenze des Violet.
L	381,96	
M	372,62	
N	358,18	
O	344,10	Überviolet.
P	336,00	
Q	328,63	
R	317,98	
U	294,77	

Da der Unterschied der Farbenempfindung im Auge wie der der Tonhöhe im Ohre dem Unterschiede in der Schwingungsdauer der erregenden Licht- oder Tonwellen entspricht, so hat man vielfältig versucht, die Farbenstufen des Spectrum nach demselben Principe abzutheilen, wie es bei den ganzen und halben Tönen in der musikalischen Tonleiter geschieht. NEWTON versuchte es zuerst. Da er aber noch nicht die Abhängigkeit der Breite, welche die einzelnen Farben im prismatischen Spectrum einnehmen, von der Natur der brechenden Substanz kannte, und der damals noch sehr unentwickelten Undulationstheorie des Lichtes abgeneigt war, so theilte er unmittelbar das Spectrum von Glasprismen, so weit er es kannte, ungefähr zwischen den Linien *B* und *H*, in 7 Streifen ein, deren Breite dem Verhältnisse der Intervalle in einer Tonleiter, d. h. den Zahlen $\frac{9}{8}$, $\frac{16}{15}$, $\frac{10}{9}$, $\frac{9}{8}$,

$\frac{10}{9}, \frac{16}{15}, \frac{9}{8}$, proportional war, und unterschied, diesen sieben Intervallen entsprechend, sieben Hauptfarben, nämlich: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violet. Dafs in dieser Reihe zwei Arten des Blau genannt sind, während Goldgelb, Gelbgrün, Meergrün fehlen, die dem Auge von den benachbarten Hauptfarben mindestens ebenso gut verschieden erscheinen, wie
237 Indigo von Cyanblau und Violet, rührt von der auf S. 282 erwähnten Eigenthümlichkeit der Brechungsverhältnisse in den durchsichtigen Substanzen her, vermöge deren in jedem prismatischen Spectrum die brechbareren Farbentöne stärker ausgedehnt werden, als die weniger brechbaren. In den Interferenzspectris, wo die Vertheilung der Farben nur von der Wellenlänge, nicht von der Natur eines brechenden Medium abhängt, ist der blauviolette Raum viel schmaler, und würde bei einer ähnlichen Eintheilung nicht in drei Streifen zerfallen sein, dagegen der Raum des Roth und Orange etwa drei eingenommen hätte.

Wenn wir jetzt mit Hülfe der seitdem gemachten Entdeckungen und Messungen das Spectrum eintheilen, indem wir das Eintheilungsprincip der musikalischen Tonleiter auf die Schwingungsdauer der Lichtwellen anwenden, wie es in *Taf. II, Fig. 2* geschehen ist, und das Gelb dem Grundtone *c*, die Linie *A* dem tieferen *G* entsprechend machen, so bekommen wir für die einzelnen halben Töne folgende Farbenstufen:

Fis. Ende des Roth
G. Roth
Gis. Roth
A. Roth
B. Rothorange
H. Orange
c. Gelb
cis. Grün
d. Grünblau
dis. Cyanblau
e. Indigblau
f. Violet.
fis. Violet
g. Überviolet
gis. Überviolet
a. Überviolet
b. Überviolet
h. Ende des Sonnenspectrum.

Die Töne, welche Octaven bilden, sind nebeneinander gestellt. In *Taf. II Fig. 2* sind rechts die den Tonintervallen entsprechenden Stellen durch Linien bezeichnet.

n Nach derselben Berechnungsweise würde die von Herrn ABNEY gefundene Grenze des Ultraroth im Sonnenspectrum auf A_{-2}, zwei Octaven unter dem helleren Roth liegen. Herrn LANGLEY's[1] Messungen führen noch viel weiter und machen es überhaupt zweifelhaft, ob eine Grenze des Spectrum für die überrothen Strahlen grosser Wellenlänge existirt. Andererseits führen Herrn CORNU's

[1] S. P. LANGLEY, *Researches of Solar Heat. Professional papers of the Signal Service.* Washington 188 — *Sillim. Journ.* Vol. XXVII. March 1884 und Vol. XXXII. August 1886.
[2] CORNU, C. R. 88. p. 1285—1290 (1879).

mit Sonnenlicht ausgeführte Spectralphotographien bis zur Wellenlänge 293,2 dem oben angeführten h entsprechend für das äufserste Ultraviolet, was die Atmosphäre noch bis zum Riffelhause bei Zermatt (2570 m hoch) durchdringt. Im elektrischen Kohlenlicht kommen nach seinen Untersuchungen noch Strahlen vor, die schneller schwingen, aber durch die Luft schnell absorbirt werden; solche von 211,84 Wellenlänge schon in 10 m, von 184,21 in 1 m, von 156,58 in 0,1 m verlöschend. Dadurch ist für unsere Beobachtungen im Luftraum die Grenze gezogen.

Danach würde, akustisch berechnet, die äufserste Grenze des elektrischen Kohlenlichts bei h', eine Octave höher als die Grenze des Sonnenspectrum liegen.

Aus der gegebenen Vergleichungstafel der halben Töne und Farbenstufen 237
geht nun hervor, dafs an beiden Grenzen des Spectrum die Farbe sich innerhalb mehrerer halber Tonstufen nicht merklich ändert, in der Mitte dagegen die sehr mannigfaltigen Übergangsfarben des Gelb in Grün alle in die Breite eines einzigen halben Tones zusammengedrängt sind. Daraus folgt, was im folgenden Paragraphen weiter zu besprechen ist, dafs in der Mitte des Spectrum das Auge für die Änderung der Schwingungsdauer des Lichts viel empfindlicher ist, als an den Enden des Spectrum, und dafs die Farbenstufen ihrer Gröfse nach keineswegs in ähnlicher Weise von der Schwingungsdauer abhängen, wie die Abstufungen der Tonhöhe.

Da die vorliegenden physiologischen Untersuchungen eine viel genauere Scheidung des einfachen Lichts von einander nothwendig machen, als es bei physikalischen Untersuchungen im Allgemeinen erfordert wird, will ich hier die Theorie der Brechung in Prismen besprechen, soweit sie für die Herstellung reiner Spectra nöthig ist. Man hatte früher, so viel ich gefunden habe, immer nur die Brechung einzelner Lichtstrahlen in den Prismen untersucht, aber nicht die Lage und Beschaffenheit der prismatischen Bilder, und doch, wenn man mit dem Auge durch ein Prisma sieht, oder das aus dem Prisma tretende Licht durch Linsen und Fernröhre gehen läfst, kommt es wesentlich darauf an, die prismatischen Bilder 238
für jede Art homogenen Lichtes zu kennen, denn sie sind dann als die Objecte für die weiteren optischen Bilder zu betrachten, welche die Augenmedien und Linsen entwerfen.

Diese Lücke habe ich selbst in der ersten Auflage dieses Werkes auszufüllen
gesucht. Da die betreffende mathematische Untersuchung aber seitdem anderwärts[1] „
veröffentlicht worden, und rein physikalischer Natur ist, möge es hier genügen, ihre Ergebnisse auseinanderzusetzen.

Bilder entworfen bei parallelen einfallenden Strahlen. Wenn die einfallenden Strahlen untereinander parallel sind, so fallen sie alle unter gleichen Einfallswinkeln und in parallel liegenden Einfallsebenen auf die erste Fläche des Prisma, haben also auch nach der ersten und demzufolge ebenso nach der zweiten Brechung parallele Richtung. Unter diesen Umständen können sie nach der Brechung im Prisma, wie vorher, angesehen werden wie Strahlen, die von einem unendlich entfernten leuchtenden Punkte kommen; sie sind vor wie nach der Brechung homocentrisch, und das durch das Prisma gegangene Bündel kann

[1] H. Helmholtz, *Wissenschaftliche Abhandlungen.* Bd. II. S. 147—182. Leipzig 1883.

also ebenso gut wie das einfallende benutzt werden, um durch Linsen oder Kugelspiegel genaue Bilder des unendlich entfernten leuchtenden Punktes, beziehlich seines ebenfalls unendlich entfernten prismatischen Bildes zu geben.

Bei den neueren Spectralapparaten benutzt man meistens diese Eigenthümlichkeit der parallelen Strahlenbündel vollkommene optische Bilder zu geben, indem man die lichtgebende Linie, sei es nun ein feiner Spalt, durch den äufseres Licht eindringt, oder ein glühender Draht, oder eine mit elektrischem Glimmlicht gefüllte Capillarröhre, in die Brennebene einer achromatischen Convexlinse bringt (Collimatorlinse), in der alle von einem Punkt der Lichtquelle ausgegangenen Strahlen erst durch Brechung parallel gemacht werden, ehe sie auf das Prisma fallen. Um diesen Vortheil aber vollständig zu haben, mufs man darauf achten, dafs die lichtgebende Linie sich genau in der Brennebene der Collimatorlinse befinde.

I. Bilder unendlich entfernter leuchtender Flächen.

Nur wenn die Flächen verschwindend kleine Ausdehnung haben, sind die prismatischen Bilder derselben ihren Objecten geometrisch ähnlich, da die Ablenkung der Strahlen, welche in verschiedenen Richtungen durch das Prisma gehen, verschieden grofs ist.

Wir wollen eine senkrecht zur brechenden Kante des Prisma gelegte Ebene eine Hauptebene desselben nennen. Die Einfallslothe liegen immer in einer Hauptebene.

A. Ablenkung von Strahlen, die in einer Hauptebene verlaufen. Für die Anwendung ist dies der wichtigste Fall. In *Fig. 125* sei die Ebene der

Fig. 125.

Zeichnung die betreffende Hauptebene, und die brechende Kante des Prisma senkrecht zu derselben durch den Punkt C gehend gedacht. AC und BC seien die Schnittlinien der beiden brechenden Flächen des Prisma mit der Ebene der Zeichnung, ha, ab, bk seien Stücke des Strahls, $mm_,$ und $nn_,$ die Einfallslothe in a und b. Da nach der Voraussetzung der einfallende Strahl ha senkrecht zu der brechenden Kante sein soll, die Einfallslothe dies ebenfalls sind: so müssen beide ganz in der Ebene der Zeichnung liegen, wenn diese den Einfallspunkt a enthält. Die Eben

der Zeichnung ist also Einfallsebene, folglich auch Brechungsebene für den Strahl; also liegt auch der dem gebrochenen Punkte angehörige Punkt b, wie das zweite Einfallsloth $nn_{,}$ in derselben; folglich auch der zweite gebrochene Strahl bk, und da ha und bk in derselben Ebene liegen und nicht parallel sind, müssen sie passend verlängert sich in dieser Ebene schneiden. Der Schnittpunkt sei c.

Die Winkel, welche die Strahlen der Reihe nach mit den beiden Einfallslothen verbinden, bezeichne ich mit

$$\angle\, ham = \varepsilon \quad . \quad \angle\, kbn = \eta$$
$$\angle\, bam_{,} = \varepsilon_{,} \quad . \quad \angle\, abn_{,} = \eta_{,}$$

Den brechenden Winkel des Prisma bezeichne ich

$$\angle\, ACB = \gamma.$$

Nun ist, wenn wir mit R einen rechten Winkel bezeichnen,

$$\angle\, abB = \eta_{,} + R$$

und Aufsenwinkel zum Dreieck bCa; als solcher ist

$$abB = bCa + Cab, \text{ oder}$$
$$\eta_{,} + R = \gamma + R - \varepsilon_{,},$$

also:

$$\gamma = \eta_{,} + \varepsilon_{,} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1).$$

Dazu kommt, wenn n das Brechungsverhältnifs des Prisma bezeichnet:

$$\left.\begin{aligned} \sin\varepsilon &= n \,.\, \sin\varepsilon_{,} \\ \sin\eta &= n \,.\, \sin\eta_{,} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2).$$

Der Ablenkungswinkel ω zwischen den beiden Strahlen ist Aufsenwinkel zum Dreieck abc, also

$$\omega = \varepsilon - \varepsilon_{,} + \eta - \eta_{,}$$
$$= \varepsilon + \eta - \gamma \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3).$$

Aus der allgemeinen trigonometrischen Formel

$$\sin\varepsilon + \sin\eta = 2 \cdot \sin\frac{\varepsilon + \eta}{2} \cdot \cos\frac{\varepsilon - \eta}{2}$$

ergiebt sich bei Berücksichtigung der Gleichungen 1), 2) und 3)

$$\sin\left(\frac{\omega + \gamma}{2}\right) = n \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cdot \frac{\cos\left(\frac{\varepsilon_{,} - \eta_{,}}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\varepsilon - \eta}{2}\right)} \quad \ldots \quad 4).$$

Daraus folgt, dafs, wenn der Strahl durch beide Prismenflächen unter gleichen Winkeln geht, also

$$\varepsilon = \eta,$$

wobei auch

$$\varepsilon_{,} = \eta_{,}$$

sein mufs, die Gröfse der Ablenkung sich durch die Gleichung bestimmt

$$\sin\left(\frac{\omega + \gamma}{2}\right) = n \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right), \quad \ldots\ldots\ldots \quad 5).$$

welche Gleichung zur Bestimmung des n für die Substanz der Prismen vorzugsweise gebraucht wird.

Wenn dagegen $\varepsilon > \eta$, ist auch nothwendig $\varepsilon_, > \eta_,$ nach Gleichungen 2). Diese differentirt ergeben dann

$$\cos\varepsilon \cdot d\varepsilon = n \cdot \cos\varepsilon_, \cdot d\varepsilon_,$$

$$\cos\eta \cdot d\eta = n \cdot \cos\eta_, \cdot d\eta_,$$

und ebenso folgt aus Gleichung 1), worin γ unveränderlich ist:

$$d\eta_, = - d\varepsilon_,.$$

Dividirt man die ersteren Gleichungen durch einander, so giebt dies

$$\frac{d\eta}{d\varepsilon} = - \frac{\cos\eta_, \cdot \cos\varepsilon}{\cos\eta \cdot \cos\varepsilon_,}, \quad \ldots\ldots \quad 6).$$

was sich umschreiben läſst nach Gleichungen (2) in:

$$\frac{d\eta}{d\varepsilon} = - \sqrt{\frac{(1 - n^2 \cdot \sin^2\varepsilon_,) \cdot (1 - \sin^2\eta_,)}{(1 - n^2 \cdot \sin^2\eta_,) \cdot (1 - \sin^2\varepsilon_,)}}$$

$$= - \sqrt{\frac{(1 + n^2 \cdot \sin^2\varepsilon_, \cdot \sin^2\eta_,) - (n^2 \cdot \sin^2\varepsilon_, + \sin^2\eta_,)}{(1 + n^2 \cdot \sin^2\varepsilon_, \cdot \sin^2\eta_,) - (\sin_2\varepsilon_, + n^2\sin^2\eta_,)}}.$$

Nun wird $\left(-\frac{d\eta}{d\varepsilon}\right)$ gröſser als 1 sein, wenn in dem letzten Ausdruck unter dem Wurzelzeichen der Zähler gröſser als der Nenner ist, d. h. wenn

$$(n^2 \cdot \sin^2\varepsilon_, + \sin^2\eta_,) < (\sin^2\varepsilon_, + n^2\sin^2\eta_,)$$

oder

$$(n^2 - 1) \cdot \sin^2\varepsilon_, < (n^2 - 1) \cdot \sin\eta_,$$

oder

$$\varepsilon_, < \eta_,.$$

Es ist aber nach Gleichung 3)

$$d\omega = d\varepsilon + d\eta = d\eta \cdot \left(\frac{d\varepsilon}{d\eta} + 1\right)$$

$$= d\varepsilon \cdot \left(1 + \frac{d\eta}{d\varepsilon}\right).$$

Es ist also bei der gemachten Annahme, wonach

$$\eta_, > \varepsilon_,$$

sein soll, und also auch

$$\eta > \varepsilon,$$

$d\omega$ positiv, wenn der gröſsere Winkel η steigt, der kleinere abnimmt, der Stral sich also immer weiter von der Symmetrielage entfernt. Das Gleiche ist übrigen auch der Fall, wenn $\varepsilon > \eta$, und nun umgekehrt ε wächst.

Daraus geht hervor, daſs wir in der Symmetrielage ein Minimum der Ablenkung ω haben.

Die Grenzwinkel für die durchzulassenden Strahlen werden durch die Grenzen der totalen Reflexion bestimmt. Diese tritt ein, wenn die Gleichungen 2) entweder für $\sin\varepsilon$ oder für $\sin\eta$ einen Werth gröſser als 1 ergeben würden, der dem Sinus eines reellen Winkels nicht zukommen kann. Daraus folgt daſs der gröſste Werth der Winkel $\varepsilon_,$ und $\eta_,$, den wir mit h bezeichnen wollen gegeben wird durch die Gleichung

$$\sin h = \frac{1}{n}.$$

Für Glas vom Brechungsverhältnifs $\frac{3}{2}$ ist $h = 41^0\ 49'$, für Flintglas mit $n = \frac{5}{3}$ ist es $36^0\ 52'$.

Da nun nach Gleichung 1)

$$\gamma = \varepsilon_, + \eta_,,$$

so folgt, dafs

$$\gamma < 2h$$

sein mufs, wenn der brechende Winkel überhaupt Licht durchlassen soll. Das giebt für die beiden eben genannten Glasarten die Grenzen $83^0\ 38'$ und $73^0\ 44'$ für die gröfsten brechenden Winkel, die überhaupt Licht durchlassen.

Ist der brechende Winkel kleiner als $2\ h$, so sind die Grenzen der durchzulassenden Strahlen dadurch gegeben, dafs einerseits $\varepsilon_,$, andrerseits $\eta_,$ gleich h werden können. An der einen Grenze ist also

$$\varepsilon_, = h \qquad\qquad \varepsilon = R$$

$$\eta_, = \gamma - h \text{ und } \sin \eta = n \cdot \sin (\gamma - h).$$

An der andern Grenze vertauschen sich nur die Werthe von $\varepsilon_,$ und $\eta_,$, sowie von ε und η untereinander. Der Winkel $(\gamma - h)$ kann bei kleinen Werthen des brechenden Winkels γ auch negativ werden, d. h. der betreffende Strahl liegt dann im Prisma auf der der brechenden Kante abgekehrten Seite des Einfallslothes, aufserhalb des Prisma auf der zugekehrten Seite.

Die scheinbare Breite des Spalts im prismatischen Bilde für monochromatisches Licht ergiebt sich aus Gleichung 6), wenn wir $d\varepsilon$ als den Werth der scheinbaren Breite des wirklichen Spalts vom Orte des Prisma gesehen nehmen. Dann ist $d\eta$ die entsprechende Gröfse im prismatischen Bilde. Wie wir eben gesehen haben, ist $d\eta > d\varepsilon$, wenn $\eta > \varepsilon$. Schmalere Spaltbilder bekommen wir also für ein gröfseres ε, kleineres η, d. h. wenn wir in die uns zugekehrte Seite des Prisma senkrechter hineinsehen, als dem Minimum der Ablenkung entspricht.

Gröfse der Zerstreuung für Licht von verschiedener Brechbarkeit. Wenn die einfallenden Strahlen aus fester Richtung kommen, der Winkel ε für sie also nicht variirt, so ändert sich doch η mit dem Brechungsverhältnifs n. Die Gröfse

$$d\eta = \frac{d\eta}{dn} \cdot dn$$

giebt dann die scheinbare Breite des Farbenstreifens im Spectrum, der dem Intervall des Brechungsverhältnisses $d\eta$ entspricht.

Um den Differentialquotienten $\frac{d\eta}{dn}$ zu bilden, können wir die Gleichungen 2) und 1) differentiiren, indem wir ε und γ als unveränderlich betrachten. Dies giebt:

$$0 = dn \cdot \sin \varepsilon_, + n \cdot \cos \varepsilon_, \cdot d\varepsilon_,$$

$$\cos \eta \cdot d\eta = dn \cdot \sin \eta_, + n \cdot \cos \eta_, \cdot d\eta_,$$

$$d\varepsilon_, + d\eta_, = 0.$$

Multipliciren wir die erste der drei Gleichungen mit $\cos \eta_,$, die zweite mit $\cos \varepsilon_,$

und addiren mit Berücksichtigung der dritten, so giebt dies

$$\cos\eta \cdot \cos\varepsilon_{,} \cdot d\eta = dn \cdot \sin\gamma$$

$$\frac{d\eta}{dn} = \frac{\sin\gamma}{\cos\eta \cdot \cos\varepsilon_{,}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 7).$$

Das Product der beiden Cosinus im Nenner dieses Ausdrucks ist veränderlich, wenn man das Prisma dreht. An der einen Grenze, wo der austretende Strahl streifenden Austritt hat, ist $\cos\eta = 0$, also $\frac{d\eta}{dn} = \infty$. An der andern Grenze ist dagegen $\varepsilon_{,} = h$ und

$$\cos\eta = \sqrt{1 - n^2 \cdot \sin^2(\gamma - h)};$$

also

$$\frac{d\eta}{dn} = \frac{\sin\gamma}{\cos h \cdot \sqrt{1 - n^2 \cdot \sin^2(\gamma - h)}}.$$

Zwischen beiden giebt es aber noch ein Minimum des Werthes dieser Gröfse, welche einem Maximum von $(\cos\varepsilon_{,} \cdot \cos\eta)$ entspricht. Die genaue Richtung dieses Minimum wird durch eine Gleichung dritten Grades gegeben. Es liegt zwischen dem streifenden Austritt und der Richtung der kleinsten Ablenkung des Strahls.

Reinheit des Spectrum. Diese wird, so weit sie von dem regelmäfsig gebrochenen Lichte abhängt, bedingt sein durch das Verhältnifs zwischen der Breite der Farbenstreifen und der scheinbaren Breite des Spalts im prismatischen Bilde. Erstere, die wir mit P bezeichnen wollen, ist gegeben durch das $\frac{d\eta}{dn}$ der Gleichung 7), letztere durch das $\frac{d\eta}{d\varepsilon}$ der Gleichung 6),

$$P = \frac{\frac{d\eta}{dn}}{\frac{d\eta}{d\varepsilon}} = \frac{\sin\gamma}{\cos\eta_{,} \cdot \cos\varepsilon} \quad \ldots\ldots \quad 8).$$

Die Form dieses Ausdrucks ist ganz dieselbe, wie in Gleichung 7), nur dafs die Winkel für die beiden Seiten des Prisma mit einander vertauscht sind. Die Reinheit wird also am gröfsten bei streifender Incidenz der einfallenden Strahlen vom dickeren Ende des Prisma her, wo der Spalt sehr schmal erscheint. Ein Minimum der Reinheit tritt zwischen dieser Richtung und der der kleinsten Ablenkung ein; dann wächst die Reinheit wieder ein wenig, wenn der Austrittswinkel sich der streifenden Incidenz nähert.

Die streifenden Incidenzen schwächen aber das Licht sehr durch starke Reflexion und erfordern grofse Genauigkeit der ebenen Flächen, so dafs sie deshalb praktisch wenig zu empfehlen sind. Die Lage der kleinsten Ablenkung hat unter anderen Vorzügen den, dafs der Lichtverlust der geringste ist.

B. Brechung von Strahlen, welche in einer zur brechende Kante parallelen Ebene sich ausbreiten. Gerade Linien, welche der brechenden Kante parallel sind, wie es bei den als Lichtquelle dienenden Spalten und glühenden Drähten gewöhnlich der Fall ist, erscheinen gekrümmt, an ihren Enden stärker

abgelenkt, als in derjenigen Stelle, die in einer durch das Auge des Beobachters gelegten Hauptebene liegt.

Die Einfallsebene und die Hauptebene, welche zu jedem der beiden Einfallspunkte des durchgehenden Strahls gehören, schneiden sich im Einfallsloth, das in dem betreffenden Einfallspunkte errichtet ist. Bezeichnen wir nun wie bisher mit ε und $\varepsilon_{,}$ den Einfalls- und Brechungswinkel, mit δ und $\delta_{,}$ die Projectionen dieser Winkel auf die Hauptebene, und mit φ den Winkel zwischen der Einfallsebene und der Hauptebene, so ist nach einem bekannten Satze der sphärischen Trigonometrie

$$tang\,\delta = cos\,\varphi \cdot tang\,\varepsilon$$
$$tang\,\delta_{,} = cos\,\varphi \cdot tang\,\varepsilon_{,}.$$

Das Brechungsgesetz aber ergiebt:

$$sin\,\varepsilon = n \cdot sin\,\varepsilon_{,}.$$

Ersetzt man hierin die Sinus durch die Tangenten, und erhebt auf das Quadrat, so giebt dies:

$$\frac{tang^2\,\varepsilon}{1 + tang^2\,\varepsilon_{,}} = n^2 \cdot \frac{tang^2\,\varepsilon_{,}}{1 + tang^2\,\varepsilon_{,}},$$

als eine andere Form des Brechungsgesetzes. Ersetzt man hierin ε und $\varepsilon_{,}$ durch ihre Projectionen auf eine Hauptebene, so ergiebt sich

$$\frac{tang^2\,\delta}{cos^2\,\varphi + tang^2\,\delta} = n^2 \cdot \frac{tang^2\,\delta_{,}}{cos^2\,\varphi + tang^2\,\delta_{,}}$$

oder

$$\left.\begin{aligned} tang^2\,\delta &= \frac{n^2 \cdot tang^2\,\delta_{,} \cdot cos^2\,\varphi}{cos^2\,\varphi - (n^2 - 1) \cdot tang^2\,\delta_{,}} \\ tang^2\,\delta_{,} &= \frac{tang^2\,\delta \cdot cos^2\,\varphi}{n^2 \cdot cos^2\,\varphi + (n^2 - 1) \cdot tang^2\,\delta}, \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad 9)$$

so dafs jeder dieser Winkel aus dem andern gefunden werden kann.

Wenn wir die beiden Winkel η und $\eta_{,}$ ebenso auf dieselbe Hauptebene projicirt denken, und ihre Projectionen ζ und $\zeta_{,}$ nennen, den Winkel zwischen den Ebenen der beiden Winkel dagegen ψ, so erhalten wir entsprechende Gleichungen, wie 9) auch für ζ und $\zeta_{,}$, also mit kleiner Änderung der Schreibweise:

$$tang^2\,\zeta = \frac{n^2 \cdot tang^2\,\zeta_{,}}{1 - \dfrac{n^2 - 1}{cos^2\,\psi} \cdot tang^2\,\zeta_{,}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 9a).$$

Wieder haben wir für den brechenden Winkel des Prisma

$$\gamma = \delta_{,} + \zeta_{,}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 10)$$

und wenn wir mit O die Projection des Ablenkungswinkels ω auf die Hauptebene bezeichnen

$$O + \gamma = \delta + \zeta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 10a),$$

Die Winkel ψ und φ sind miteinander verbunden durch die Gleichung

$$\frac{cos^2\,\varphi}{cos^2\,\varphi \cdot cos^2\,\delta_{,} + sin^2\,\gamma_{,}} = \frac{cos^2\,\psi}{cos^2\,\psi \cdot cos\,\zeta_{,} + sin^2\,\zeta_{,}}, \quad . \quad 10b)$$

welche sich ergiebt, wenn man durch den Strahl im Prisma und seine Projection

auf die Hauptschnitte eine Ebene legt, die demzufolge der brechenden Kante parallel sein mufs, und berücksichtigt, dafs die in dieser Ebene liegenden Winkel zwischen dem Strahl und seinen beiden Projectionen gleich sein müssen.

Die in Gleichung 9a) gegebene Form läfst am leichtesten erkennen, dafs wenn der Winkel φ oder ψ wächst, sein Cosinus also abnimmt, auch der Nenner des Bruchs kleiner und $tang\ \varphi$ oder $tang\ \zeta$ gröfser wird. Die Brechung in den Projectionen des Strahls ist also stärker, je mehr die Einfallsebene von der Hauptebene abweicht. Da dies bei beiden Brechungen im Prisma stattfindet, mufs auch die Gesammtablenkung der Projection von Strahlen, die geneigt zur Hauptebene durchgehen, stärker sein, als für solche, die in der Hauptebene verlaufen und bleiben.

Gleichung 10b) ergiebt, dafs auch die Gröfsen $\cos\varphi$ und $\cos\psi$ nur gleichzeitig zu- und abnehmen können.

Wegen der hieraus resultirenden Krümmung prismatischer Bilder von leuchtenden Linien, dürfen letztere keine grofse Länge haben, wenn man genaue Spectren haben will und die brechende Kante des Prisma mufs senkrecht gegen die Gesichtslinie des Beobachters und parallel dem Spalt sein.

II. Bilder näherer Punkte für Strahlen in der Hauptebene.

In *Fig. 126* sei ab ein auf die Grenzfläche zweier durchsichtiger Medien fallender Strahl, $ab_,$ ein zweiter ihm sehr nahe benachbarter von demselben leuchtenden Punkte a ausgehender in derselben Einfallsebene gelegen. Das von b auf $ab_,$ gefällte Loth treffe den letzteren Strahl in d. Dies Loth macht mit der Ebene $cb_,$ denselben Winkel, wie die zu beiden normalen Linien r und ac, also ist

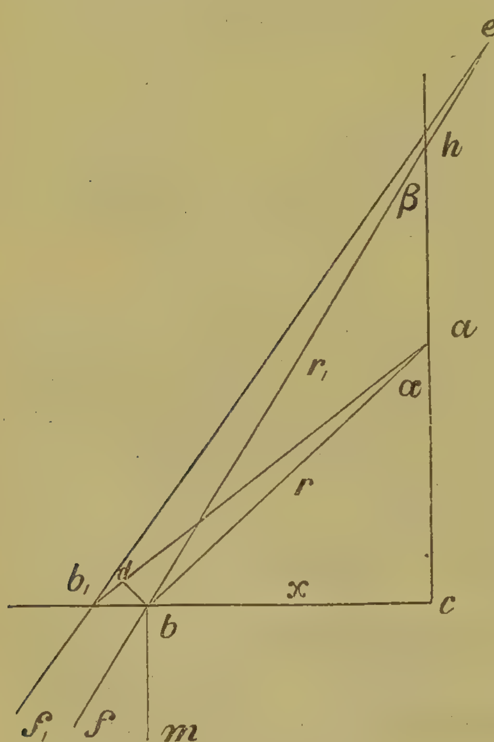


Fig. 126.

$$bd = bb_, \cdot \cos\alpha.$$

Wenn wir $bb_, = dx$ und den sehr kleinen Winkel $b_, a b$ mit $d\alpha$ bezeichnen, können wir diese Gleichung schreiben

$$r \cdot d\alpha = dx \cdot \cos\alpha.$$

Sind nun $b_, f_,$ und bf die gebrochenen Strahlen, die sich rückwärts verlängert schneiden müssen, da sie beide in der Ebene der Zeichnung (Einfallsebene) liegen, und ist e deren Schnittpunkt, $eb = r_,$ so besteht die entsprechende Beziehung zwischen diesen

$$r_, \cdot d\beta = dx \cdot \cos\beta.$$

Daraus folgt:

$$\frac{r_,}{r} = \frac{\cos\beta}{\cos\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{d\beta}.$$

Nach dem Brechungsgesetz ist

$$\sin\alpha = n \cdot \sin\beta,$$

also wenn wir α und β ändern:

$$\cos\alpha \cdot d\alpha = n \cdot \cos\beta \cdot d\beta.$$

Dies in die obige Gleichung gesetzt, giebt

$$\frac{r_,}{r} = \frac{n \cdot cos^2 \beta}{cos^2 \alpha} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 11).$$

Wenn $b_,$ die Kante eines Prisma ist, und an der zweiten Fläche desselben der Einfallswinkel im Glase $\beta_,$ ist, aufserhalb desselben $\alpha_,$, wenn ferner r_2 die Entfernung des scheinbaren Convergenzpunktes der Strahlen nach der zweiten Brechung anzeigt, so ist hierfür entsprechend

$$\frac{r_,}{r_2} = \frac{n \cdot cos^2 \beta_,}{cos^2 \alpha_,} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 11a).$$

Also aus 11) und 11a)

$$\frac{r_2}{r} = \frac{cos^2 \alpha_, \cdot cos^2 \beta}{cos^2 \alpha \cdot cos^2 \beta_,} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 11b).$$

Es ist dies dieselbe Gröfse, die oben in Gleichung 6) schon vorgekommen ist als Werth von $\left(\frac{d\alpha}{d\beta}\right)^2$, und es lassen sich dieselben Betrachtungen anwenden, um den Gang dieser Function darzustellen.

Im Minimum der Ablenkung ist $\alpha = \beta$, $\alpha_, = \beta_,$, folglich auch $r_2 = r$. Wenn $\alpha_, < \alpha$ ist $r_2 > r$, umgekehrt $r_2 < r$, wenn $\alpha_, > \alpha$. Man merkt dies sehr deutlich bei der Einstellung des Fernrohrs auf die FRAUNHOFER'schen Linien eines endlich entfernten Spaltes.

IIa. Astigmatismus der Bilder näherer Lichtpunkte.

Wenn man sich *Fig. 126* um das vom leuchtenden Punkte a auf die brechende Fläche gefällte Loth ac als Axe gedreht denkt, so ändert die brechende Fläche ihre Lage nicht, indem sie sich in sich selbst verschiebt; der Einfallspunkt des Strahls ab aber verschiebt sich in der brechenden Fläche senkrecht zur Linie cb, während wir ihn in II. sich in Richtung dieser Linie selbst verschieben liefsen; bf bleibt der zu ab gehörige gebrochene Strahl, und wenn h der Punkt ist, wo derselbe die Axe ac schneidet, so bleibt auch dieser Schnittpunkt bei der Drehung unverändert. Während also a der Ausgangspunkt aller in der Entfernung cb einfallenden Strahlen ist, ist h der Schnittpunkt der zugehörigen gebrochenen Strahlen. Bezeichnen wir $bh = r_3$, so ist

$$sin\ \alpha = \frac{x}{r}$$

$$sin\ \beta = \frac{x}{r_3},$$

also nach dem Brechungsgesetz

$$\frac{x}{r} = n \cdot \frac{x}{r_3}$$

oder

$$r_3 = n \cdot r.$$

Bezeichnet man mit r_4 den Abstand des Convergenzpunktes der betreffenden Strahlen nach der Brechung an der zweiten Prismenfläche, indem wir wieder die brechende Kante senkrecht zur Ebene der Zeichnung durch b gehend annehmen,

so wird für ein schmales Strahlenbündel der angegebenen Art wieder

$$r_3 = n \cdot r_4,$$

folglich

$$r_4 = r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 12).$$

Dies gilt also für schmale Strahlenbündel, die in Ebenen senkrecht zur Einfallsebene divergiren, wenn die mittlere Einfallsebene gleichzeitig Hauptebene ist. Für die in der Hauptebene divergirenden Strahlenbündel dagegen gelten die Gleichungen des Abschnitts II. Diese zeigen, dafs $r_2 = r$ nur im Minimum der Ablenkung wird. In diesem Falle ist ein durch das Prisma gegangenes homocentrisches Strahlenbündel auch nach der Brechung homocentrisch; in andern Fällen astigmatisch.

Im Allgemeinen ist es für die Reinheit der Farbenstreifen und die Schärfe der FRAUNHOFER'schen Linien nicht erforderlich, dafs die gebrochenen Strahlen homocentrisch seien. Nur ist zu bemerken, dafs man bei astigmatischen Strahlen die Einstellung des Fernrohrs nicht gleichzeitig für die FRAUNHOFER'schen Linien und für die Ränder des Spectrum, die den Enden des Spalts entsprechen, oder für ZANTEDESCHI's Linien, die quer durch die Farbenstreifen ziehen und von kleinen Ungleichheiten des Spalts herrühren, genau machen kann.

260 Was die Helligkeit des Spectrum betrifft, so verhält sich die Helligkeit h des Spaltes, die er für irgend eine einzelne homogene Farbe hat, zu der seines Bildes umgekehrt wie seine Breite $d\varepsilon$ zu der des Bildes $d\eta$, wenn man übrigens von den Verlusten absieht, die das Licht durch Reflexion an den Glasflächen erleidet, und wenn die Apertur des Prisma gröfser als die Pupille ist, oder beim Gebrauch eines Fernrohrs gröfser als das Objectivglas. Also

$$h \cdot d\varepsilon = h_1 \cdot d\eta$$

oder mit Benutzung des früher gefundenen Verhältnisses von $d\varepsilon$ und $d\eta$

$$h_1 = h \cdot \frac{\cos\eta \cdot \cos\varepsilon_1}{\cos\varepsilon \cdot \cos\eta_1}.$$

Nun ist die Helligkeit H irgend einer Stelle des Spectrum aber gleich der Summe der Helligkeiten h_1 aller einzelnen homogenen Farben, welche sich dort decken. Im Allgemeinen können wir annehmen, dafs einfache Farben von sehr kleinem Unterschiede der Wellenlänge λ nahehin dieselbe Helligkeit haben. Bezeichnen wir also mit $d\lambda$ und dn dies Intervall der Wellenlänge und Brechbarkeit, innerhalb deren die sich deckenden Farben liegen, so können wir setzen

$$H = h_1 \cdot d\lambda = h_1 \cdot \frac{d\lambda}{dn} \cdot dn,$$

woraus mit Berücksichtigung des in 7) gefundenen Werthes von dn folgt:

$$H = h \cdot \frac{\cos\eta \cdot \cos\varepsilon_1}{\sin\gamma} \cdot d\varepsilon \cdot \frac{d\lambda}{dn},$$

wo $d\varepsilon$ die scheinbare Breite des Spaltes bezeichnet. Um die Bedeutung dieses Ausdruckes von H zu verstehen, bemerken wir noch, dafs, wenn wir unter Voraussetzung einer geometrischen Lichtlinie statt des Spaltes den Gesichtswinkel $d\eta$ bestimmen, unter welchem die innerhalb des Intervalls dn vorkommenden Farben in dem ideell reinen Spectrum erscheinen, sich das Verhältnifs $\frac{d\eta}{d\lambda}$, dessen Werth

wir mit l bezeichnen wollen, durch eine ähnliche Differentiation wie vorher findet

$$\frac{d\eta}{dn} = \frac{d\eta}{d\lambda} \cdot \frac{d\lambda}{dn} = l \cdot \frac{d\lambda}{dn} = \frac{\sin\gamma}{\cos\eta \cdot \cos\varepsilon_1}.$$

Dann wird

$$H = \frac{h \cdot d\varepsilon}{l}.$$

Abgesehen also von dem Verluste durch Reflexion und Absorption, ist die Helligkeit des Spectrum, unabhängig von der Brechkraft des Prisma und den Brechungswinkeln, direct proportional der Helligkeit der betreffenden Farben im Spectrum, der scheinbaren Breite des Spaltes und umgekehrt proportional der scheinbaren Länge des betreffenden Theils des Spectrum.

Wenn die Brechung im Minimum der Ablenkung geschieht, ist die scheinbare 261
Breite des Spaltes der seines Bildes gleich, und man kann $\frac{l}{d\varepsilon}$ als Maſs der Reinheit des Spectrum betrachten. Dann ist also die Helligkeit des Spectrum bei gleichbleibender Helligkeit des durch den Spalt dringenden Lichts einfach umgekehrt proportional seiner Reinheit. Daraus folgt also, daſs zur Erreichung der gröſsten Reinheit auch das intensivste Licht nöthig ist.

Dagegen würde es theoretisch möglich sein, etwas gröſsere Helligkeit bei gleicher Reinheit des Spectrum zu gewinnen, wenn man den Einfallswinkel an der ersten brechenden Fläche vergröſsert, und den Spalt breiter macht; um aber die Länge des Spectrum constant zu erhalten, müſste man auch noch den brechenden Winkel vergröſsern. Indessen läſst sich praktisch dadurch nichts gewinnen, weil der Lichtverlust durch Reflexion immer gröſser wird, und die kleinen Abweichungen der brechenden Flächen von einer vollkommenen Ebene das Bild desto mehr verwirren, je gröſser der Einfallswinkel ist.

Bisher ist der Gebrauch des Prisma ohne Vergröſserungsgläser vorausgesetzt worden. Das prismatische Spectrum kann nun aber auch wie jedes andere optische Bild als Object für ein Fernrohr gebraucht und beliebig vergröſsert werden. Dabei wird die Reinheit des Spectrum natürlich nicht verändert, und wenn das Fernrohr eine hinreichend groſse Apertur hat, um die gesehenen Gegenstände in ihrer natürlichen Helligkeit zu zeigen, und die Apertur des Prisma dieser gleichkommt, so ist auch die Helligkeit des vergröſserten Bildes unverändert. Auch bleiben die in dem Vorausgehenden hingestellteu Regeln über Helligkeit und Reinheit des Spectrum unverändert, wenn man unter $d\varepsilon$ die scheinbare Gröſse des Spaltes, unter $d\eta$ die seines Bildes, unter l die Länge des bestimmten Theils des Spectrum versteht, wie sie durch das Fernrohr erscheinen. Aus der für die Helligkeit hingestellten Bedingung ergiebt sich übrigens, warum für Versuche ohne Fernrohr ganz kleine Prismen ausreichen, während man für Fernrohrversuche desto gröſsere haben muſs, je stärker die Vergröſserung.

Um ein Spectrum herzustellen, läſst man Licht durch einen engen Spalt auf ein Prisma fallen, das hindurchgegangene Licht kann man entweder direct in das Auge oder ein Fernrohr fallen lassen, oder es durch eine Linse zu einem objectiven Bilde des Spectrum condensiren.

Als Lichtquelle kann man jeden leuchtenden Körper benutzen, bekanntlich ist die Helligkeit der einzelnen Farben in dem Lichte verschiedener selbstleuchtender Körper,

262 irdischer sowohl als himmlischer, von verschiedener Stärke, die Anordnung der dunkeln und hellen Linien ist verschieden. Will man das Spectrum des Sonnenlichts zu den Versuchen benutzen, so genügt für Spectren, in denen man nur die gröberen dunkeln Linien und nur die gewöhnlich sichtbaren Farben sehen will, das von einem Spiegel reflectirte Licht des Himmels oder ein von der Sonne beschienenes Papierblatt; nur ist in dem ersteren das Gelb und Orange ein wenig schwach. Man hat hierbei den Vortheil dafs diese Art der Beleuchtung lange Zeit unverändert sich erhält. Um die stärkeren dunkeln Linien D, F und G zu sehen genügt schon ein Spalt von 1 mm Breite in 400 mm Entfernung durch ein Flintglasprisma, dessen brechender Winkel 50° beträgt, mit blofsem Auge betrachtet; entfernt man sich doppelt so weit vom Spalte, so sieht man schon die meisten von Fraunhofer mit grofsen Buchstaben bezeichneten Linien. Man mufs nur gerade die Stellung des Prisma suchen (nach S. 296), bei welcher sich das Auge für die Linien accommodiren kann.

Braucht man ein Spectrum von gröfserer Reinheit, in welchem auch die feineren dunkeln Linien sichtbar werden sollen, oder will man die äufsersten Grenzen des Spectrum sichtbar machen, so mufs man einen Spiegel aufstellen, welcher Licht von den der Sonne benachbarten Theilen des Himmels, oder von der Sonne selbst durch den Spalt auf das Prisma wirft, und diesen Spiegel, da die Sonne ihren Ort am Himmel ändert, entweder etwa alle drei Minuten von neuem einstellen oder ihn an einen Heliostaten befestigen, welcher ihm eine entsprechende Bewegung mittheilt.

Den Spalt, durch welchen das Licht dringt, und welcher das eigentliche Object des prismatischen Bildes ist, kann man für Versuche, bei denen es nicht auf die feineren dunkeln Linien ankommt, oder wenn man seine Entfernung vom Prisma sehr grofs machen kann, leicht aus undurchsichtigem Papier schneiden. Mufs man dagegen einen sehr feinen Spalt anwenden, so dienen dazu am besten die Gravesande'schen Schneiden. Auf einer viereckigen Messingplatte *Fig. 127* sind zwei gerade Schienen ab, ab befestigt, zwischen deren Enden aa eine Platte $aa\,cc$ festliegt, deren Rand cc zugeschärft ist. Ihm gegenüber steht der zugeschärfte Rand dd einer anderen zwischen den Schienen verschiebbaren Platte $dd\,ee$. Letztere wird mittels einer Schraube f mit sehr feinen Windungen, deren Mutter in dem auf der Grundplatte drehbar befestigten Zapfen g liegt, bewegt. Man kann auf diese Weise die beiden Schneiden cc und dd in sehr kleine Entfernungen von einander fein einstellen, wobei sie, wenn das Instrument gut gearbeitet ist, stets parallel bleiben. Die Grundplatte hat an der den Schneiden entsprechenden Stelle einen Ausschnitt, welcher das zwischen den Schneiden durchgegangene Licht frei weiter gehen läfst.

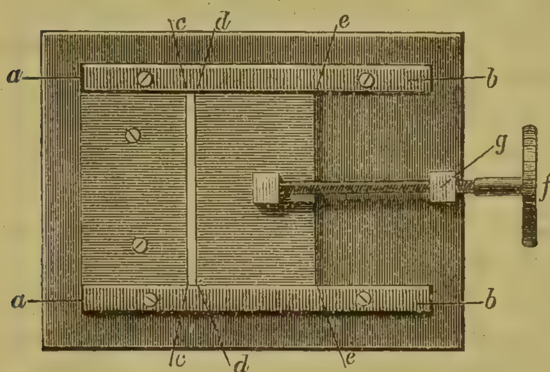


Fig. 127.

Die Gravesande'schen Schneiden müssen in der Mitte eines hinreichend grofsen dunkeln Schirms befestigt und ihre dem Beobachter zugekehrte Seite selbst geschwärzt sein. Der Schirm mufs grofs genug sein, dafs in der Nähe des Spaltes nirgends ein beleuchteter Gegenstand sichtbar ist, dessen Spectrum bis zu dem des Spaltes hinreichen könnte. Bei allen Versuchen, wo nicht die vollständige Entfernung der letzten Reste weifsen Lichtes erfordert wird, kommt es mehr darauf an, dafs der Schirm, in welchem sich der Spalt befindet, gleichmäfsig dunkel, als dafs er absolut dunkel sei. Überall wo eine Verschiedenheit der Beleuchtung, selbst nur der Gegensatz von Sammetschwarz und Grauschwarz sich findet, zeigt das Prisma Farben, während eine gleichmäfsig beleuchtete Fläche dergleichen nicht zeigt. Man kann also eine grofse Zahl solcher Versuche vollständig gut in einem hellen Zimmer auführen, wenn man nur den Spalt in einem genügend grofsen und gleichmäfsig schwarz gefärbten Schirm anbringt.

Für viele Versuche, bei denen es nicht auf sehr sorgfältige Reinigung des farbigen Lichtes ankommt, sind die Spectroskope sehr bequem. Das Prisma ist darin auf einem drehrunden Stativ aufgestellt, welches auch zwei Röhren trägt, von denen die eine ein vollständiges, auf Unendlich eingestelltes Fernrohr ist, die andre von einem solchen nur die Objectivlinse als Collimatorlinse enthält, statt des Oculars dagegen den Spalt mit GRAVESANDE's Schneiden in einer Auszugsröhre trägt. Das Innere dieser Röhre ist sorgfältig geschwärzt, der Raum zwischen beiden Röhren, in dem das Prisma steht, wird mit einem schwarzen Tuche überdeckt, um alles fremde Licht abzuhalten. Der Spalt wird genau in den Brennpunkt der Collimatorlinse eingestellt, so dafs diese die Strahlen von jedem Punkt des Spaltes einander parallel macht; so fallen sie auf das Prisma, und nachdem sie von diesem abgelenkt sind, in das Fernrohr, durch welches der Beobachter das in ein Spectrum ausgezogene Bild des Spaltes sieht. Sind die beiden Röhren an Armen befestigt, die um die verticale Axe des Stativs drehbar sind, und deren Drehungswinkel durch eine passend angebrachte Winkeltheilung gemessen werden kann, so nennt man die Apparate Spectrometer. Die Construction derselben findet sich in den physikalischen Lehrbüchern beschrieben.

Für viele physiologisch optische Fragen ist es wichtig etwas gröfsere Felder nur mit einer der Spectralfarben ausgefüllt, vor sich zu haben. Dazu kann man das Spectroskop leicht einrichten, wenn man für das Fernrohr eine zweite Auszugsröhre mit GRAVESANDE's Schneiden anfertigen läfst, die an Stelle der Ocularröhre in das Fernrohr eingesetzt werden kann. Das Schema dieser Anordnung ist in *Fig. 128* dargestellt; darin ist k eine Sammellinse, welche die ankommenden Lichtstrahlen auf den Spalt des Schirmes b concentrirt; l ist die Collimatorlinse, in deren Brennpunkt der Spalt von b steht, P das Prisma, m das Fernrohrobjectiv, in dessen Brennpunkt statt des Oculars der zweite Schirm a steht; hinter diesem das Auge des Beobachters. Wenn die beiden

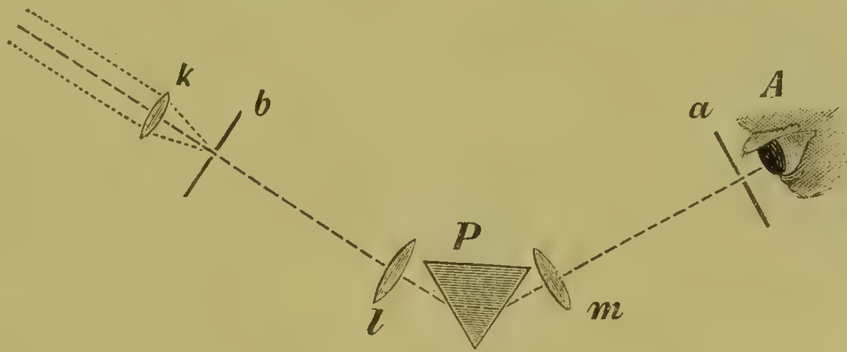


Fig. 128.

Spalte dann genau so eingestellt werden, dafs für eine gewählte Farbe der zweite genau das optische Bild des ersten ist, so geht durch den zweiten nur farbiges Licht von der Brechbarkeit dieser Farbe hindurch, alles andere wird neben dem Spalte abgefangen. Der Beobachter sieht dann durch den zweiten Spalt die ganze brechende Fläche des Prisma vor sich mit nur dieser einen Farbe beleuchtet. Sollte dieselbe noch nicht ganz homogen erscheinen, so sind die beiden Spalten nicht in genau zusammengehörigen Vereinigungspunkten. Erscheint die Farbe durch den oberen Theil des Ocularspalts gesehen etwas anders, als durch den untern Theil, so sind die Spalte nicht parallel.

Um hierbei gleichmäfsige Beleuchtung des Prisma zu erhalten, und andrerseits um bei der Beobachtung des Spectrum durch das Fernrohr nicht durch Diffractionen und halbe Zerstreuungskreise gestört zu werden, mufs man dafür sorgen, dafs von jedem Punkt des Spaltes volle Lichtkegel zu der Collimatorlinse, beziehlich durch das Prisma zum Objectiv des Fernrohrs gehen. Deshalb ist es bei schmaleren Lichtquellen oft nöthig, vor dem ersten Spalt b noch eine Brennlinse k aufzustellen, die ein Bild der Sonne oder der Beleuchtungsflamme auf der Ebene des Spalts entwirft. Übrigens ist zu

bemerken, dafs die Collimatorlinse die im Folgenden zu besprechenden Störungen durch Licht, welches unregelmäfsige Wege einschlägt, vermehrt.

262 Wenn es dagegen auf vollständige Entfernung des weifsen Lichtes ankommt, wie bei den Versuchen, welche die Unzerlegbarkeit und Unveränderlichkeit
263 des homogenen Lichtes nachweisen sollen, und bei den Untersuchungen der Grenzen des Spectrum, mufs der Schirm, in welchem sich der Spalt befindet, absolut dunkel sein. Am leichtesten ist dies zu erreichen, wenn man über ein zu optischen Versuchen eingerichtetes dunkles Zimmer mit verschlossenen und dicht eingefugten Fensterläden verfügen kann. Man setzt dann die Platte mit den Schneiden gleich in eine Öffnung der Läden selbst ein. Übrigens läfst sich dasselbe oft auch in den gewöhnlichen Wohnzimmern erreichen, wenn man die Fenstervorhänge und Fensterläden bis auf eine schmale Spalte schliefst, durch welche das Licht einfällt. Die Spalte wird im Boden eines schwarz ausgestrichenen Kastens angebracht, dessen offene Mündung dem Beobachter zugekehrt ist. Die Seitenwände des Kastens halten das seitlich einfallende Licht vom Grunde des Kastens ab, so dafs dieser schon sehr dunkel wird. Neben den Spalt klebt man dann zwei Streifen schwarzen Sammets in den Grund des Kastens, deren Breite der Länge des Spaltes gleich ist, und deren Länge die Länge des auf die Ebene des Spaltes projicirten Spectrum um etwas übertrifft, so dafs sich das ganze Spectrum auf der Fläche des Sammets entwirft. Aufserdem mufs man durch Aufstellung passender dunkler Schirme dafür sorgen, dafs kein Licht von den noch übrig gebliebenen helleren Stellen des Zimmers auf das Prisma oder die Linsen des Fernrohrs und das Auge des Beobachters fällt.

Die Herstellung eines absolut dunkeln Schirms in einem dunkeln Zimmer genügt aber noch nicht, um das Spectrum von den letzten sichtbaren Resten weifsen Lichts zu befreien, so lange noch intensives Licht von mehreren Farben das Prisma selbst, die Linsen des Fernrohrs und das Auge des Beobachters trifft. In der oben entwickelten Theorie für die Entstehung der prismatischen Bilder haben wir nur das regelmäfsig gebrochene Licht berücksichtigt. Wir müssen aber bedenken, dafs an jeder brechenden Fläche auch noch Licht reflectirt wird, und in jeder festen oder flüssigen durchsichtigen Substanz eine kleine Menge Licht unregelmäfsig nach allen Richtungen hin zerstreut wird.

Was zunächst die Reflexionen betrifft, so kommen dergleichen erstens im Prisma vor, wenn diejenige Fläche des Prisma, welche der brechenden Kante gegenüberliegt, nicht mit schwarzer Ölfarbe oder Asphaltlack überzogen und ihrer Reflexionsfähigkeit beraubt ist. Ist sie matt geschliffen, so wird sie in der Regel, so oft Licht durch das Prisma geht, erleuchtet werden. Ist in *Fig. 129* $abcd$ der Weg eines von d kommenden Strahles, und bei a das Auge des Beobachters, so erblickt der letztere in der scheinbaren Lage $f\varepsilon$ ein Spiegelbild der Fläche fe des Prisma, welches hell erscheint, wenn diese Fläche erleuchtet ist, und also diffuses weifses Licht im Gesichtsfelde des Beobachters verbreitet. Ist die Fläche fe dagegen auch polirt, so reflectirt sie das Licht regelmäfsig, und namentlich bei Prismen, deren Querschnitt ein gleichschenkeliges Dreieck ist, gelangt aufser dem Wege $dcba$ auch noch Licht auf dem Wege $dcbgcba$ nach drei Reflexionen bei b, g und c nach a. Dieses Licht ist nicht in Farben zerlegt, sondern weifs. Der Beobachter sieht vermittels dieses Lichts ein schwaches weifses Bild des Spaltes in seinem Gesichtsfelde und kann es benutzen, um das Minimum der Ablenkung genau hervorzubringen. Bei Prismen, deren Querschnitt ein gleichschenkliges Dreieck ist, fällt nämlich dieses weifse Bild genau mit der Farbe des Spectrum zusammen, welche im Minimum der Ablenkung steht. Ein solches genau begrenztes schwaches weifses Bild des Spalts ist allerdings bei unseren Versuchen weniger zu fürchten, weil es einen verhältnifsmäfsig kleinen Theil des Gesichtsfeldes einnimmt, es ist weniger schädlich, als das Spiegelbild der Fläche fe, wenn diese matt geschliffen ist. Dagegen

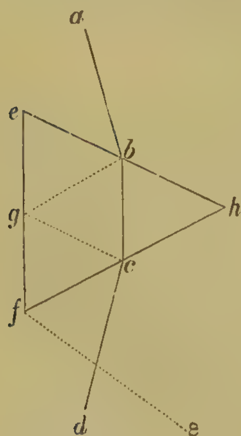


Fig. 129.

ann nun auch durch diese Fläche Licht von seitlichen Gegenständen in das Auge des eobachters kommen, für dessen Abblendung man sorgen mufs. Am besten ist es denfalls, mit Ausnahme der beiden brechenden Flächen des Prisma alle übrigen zu chwärzen.

Wenn man das Spectrum durch ein Fernrohr beobachtet, kommen auch die eflexionen an den vorderen und hinteren Flächen der Linsen in Betracht. Es werden adurch kleine lichtschwache regelmäfsige Bildchen der vor dem Fernrohr liegenden Obcte entworfen, die aber meist so liegen, dafs der Beobachter sein Auge nicht für sie 264 ccommodiren kann, und die deshalb eine schwache weifse Beleuchtung des Gesichtsfeldes eben. Man bemerkt diese Beleuchtung leicht, wenn man ein Fernrohr auf einen tiefchwarzen Gegenstand richtet, während seitwärts sich sehr helle befinden. Das Gechtsfeld grenzt sich dann als schwach erleuchtet gegen die schwarze Blendung des culars ab.

Einen ähnlichen, aber schwerer zu beseitigenden Effect hat die Zerstreuung des ichts in den Glasmassen. Eine jede noch so klare Glasmasse erscheint weifslich trübe, bald man sie scharf von der Sonne beschienen vor dunklem Grunde betrachtet, namentch wenn das Auge sich nahehin in der Richtung der durchgelassenen Strahlen befindet. asselbe ist, wie wir schon früher bemerkt haben [1], der Fall mit der Hornhaut und Linse es menschlichen Auges. Wir müssen also berücksichtigen, dafs jede der vom Lichte urchlaufenen Glasmassen eine, wenn auch verhältnifsmäfsig kleine Menge des Lichtes, elches überhaupt durch sie hingeht, diffus zerstreut und mit solchem Licht das Gesichtsld des Beobachters anfüllt. Ebenso ist auch stets eine sehr kleine Menge von jeder rt Licht, welche überhaupt in das Auge dringt, über die ganze Netzhaut ausgebreitet. olches unregelmäfsig zerstreute Licht ist allerdings von aufserordentlich geringer Lichtärke, wenn man es mit dem regelmäfsig gebrochenen oder reflectirten Lichte vergleicht. och wird es merklich, wenn man sehr lichtschwache Theile des Spectrum zu unterichen hat. Es ist z. B. der Grund, warum man bei den gewöhnlichen Einrichtungen er Spectralversuche das äufserste Roth der Linie A und das Ultraviolet nicht wahrimmt, und es macht sich auch sehr bemerklich, wenn man einzelne Stellen des Spectrum urch farbige Gläser oder Flüssigkeiten sehr abschwächt, dann kann der Farbenton olcher Stellen durch das diffus im Gesichtsfelde verbreitete schwache Licht sehr beächtlich geändert werden.

Diese Schwierigkeiten lassen sich bei Untersuchungen über lichtschwache Theile es Spectrum nur dadurch vollständig überwinden, dafs man durch den Spalt nur noch

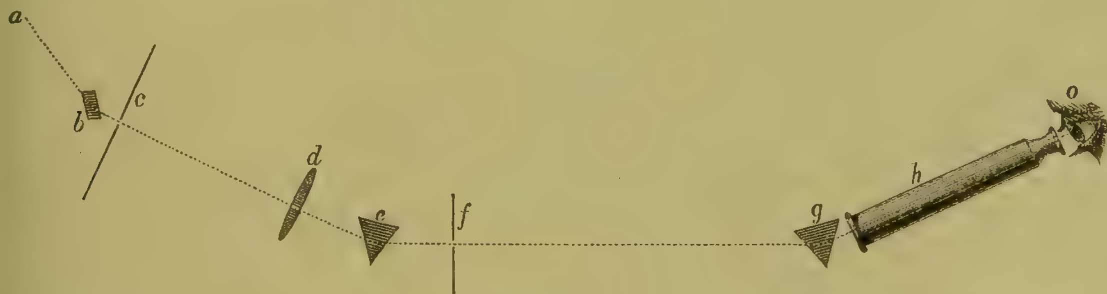


Fig. 130.

olches Licht in gröfserer Stärke auf das Prisma und Fernrohr fallen läfst, wie es gerade ntersucht werden soll, und alles Licht anderer Art, so weit man kann, ausschliefst. In inzelnen Fällen kann man dies einfach dadurch erreichen, dafs man farbige Gläser wischen die Lichtquelle und den Spalt einschaltet, z. B. rothes Glas, um die Grenze es äufsersten Roth im Spectrum sichtbar zu machen. Allgemeiner und vollständiger rreicht man den Zweck, wenn man hintereinander zwei Spalten und zwei Prismen auftellt, in der Weise, dafs durch den zweiten Spalt, dessen Bild das Spectrum geben soll,

[1] S. oben S. 25 und 177.

nur noch Licht der betreffenden Art hindurchgeht. Das Schema dieser Anordnung ist in *Fig. 130* gegeben. Der einfallende Lichtstrahl *ab* trifft bei *b* auf den Spiegel des Heliostaten, geht durch einen Spalt in dem Schirme *c*, der im Allgemeinen nicht sehr eng zu sein braucht, fällt dann auf die Linse *d* und das Prisma *e* auf den Schirm *f*, welcher so weit von der Linse absteht, dafs die vom Spalte *c* ausgegangenen Strahlen auf ihm vereinigt werden, so dafs auf ihm ein in ein Spectrum ausgezogenes Bild dieses Spaltes entsteht. Dieses erste Spectrum braucht im Allgemeinen nicht rein zu sein. Es mufs vielmehr, so oft man einen etwas breiteren Theil des Spectrum untersuchen will,
265 wie z. B. das Ultraviolet, so unrein sein, dafs es eine Stelle giebt, wo sich sämmtliche ultraviolette Strahlen decken. Um dies nach Belieben zu reguliren, ist es eben vortheilhafter, das Prisma zwischen Linse und Schirm zu stellen. Nähert man den Schirm dem Prisma, und entfernt die Linse um ein entsprechendes Stück, so wird das Spectrum kürzer und unreiner. Entfernt man den Schirm von dem Prisma, so wird er länger und reiner. In dem Schirme *f* befindet sich zwischen Gravesande'schen Schneiden ein feiner Spalt, den man so stellt, dafs gerade die Farbe des Spectrum, welche untersucht werden soll, sich auf ihm projicirt. Will man z. B. das Ultraviolet untersuchen, so rückt man den Spalt so, dafs er neben dem äufsersten Rande des sichtbaren Violet steht. Unter diesen Umständen geht nun regelmäfsig gebrochenes Ultraviolet, so lichtstark als es eben die Sonne liefert, durch den Spalt, und gleichzeitig etwas weifses von der Substanz des Prisma und der Linse diffus zerstreutes oder an ihren Flächen mehrfach reflectirtes Licht. Das letztere ist allerdings aufserordentlich viel schwächer, als das regelmäfsig gebrochene Sonnenlicht im Spectrum, aber doch stark genug, um auf dem Schirme *f* das Ultraviolet ganz zu verdecken. Das durch den Spalt *f* gegangene Licht fällt nun auf das zweite Prisma *g* und dahinter entweder unmittelbar oder durch ein Fernrohr in das Auge des Beobachters, wenn man nicht vorzieht, statt des Fernrohrs eine Linse aufzustellen, und in ihrem Brennpunkte auf einem Schirme ein objectives Bild des Spectrum aufzufangen. Da durch den Spalt *f* noch etwas weifses Licht gegangen ist, bekommt man auch hier ein vollständiges Spectrum, aber alle seine Theile sind sehr lichtschwach mit Ausnahme des Ultraviolet, oder welche andere Farbe des im ersten Prisma regelmäfsig gebrochenen Lichtes man eben durch den Spalt *f* hat gehen lassen. Wenn auch nun im zweiten Prisma *g* und in den Linsen des Fernrohrs *h* oder im Auge des Beobachters *o* Licht unregelmäfsig zerstreut wird, so ist alles andere Licht aufser dem Ultraviolet jetzt schon zu schwach, als dafs die geringen zerstreuten Theile desselben noch sollten wahrgenommen werden können. In der That gelingt es unter diesen Umständen das Spectrum auch im Fernrohr auf ganz tiefschwarzem Grunde projicirt zu sehen, dessen Schwärze nicht mehr zu unterscheiden ist von der der Ocularblendung, so dafs sich deren Rand nur da noch abzeichnet, wo er das Spectrum bedeckt. Erst wenn man diese tiefe Schwärze des Grundes erreicht hat, kann man sicher sein, reines einfarbiges Licht vor sich zu haben. Unter diesen Umständen wird denn auch das Ultraviolet des Sonnenlichts dem Auge direct sichtbar, und nur bei solchen Vorsichtsmafsregeln gelingt es die Unveränderlichkeit der Farbe des homogenen Lichts, wenn es durc farbige Gläser hindurchgeht, nachzuweisen. So lange dem Spectrum noch eine klein Menge diffusen weifsen Lichtes beigemischt ist, verändern farbige Medien, welche di betreffende Farbe durch Absorption sehr schwächen, auch scheinbar ihren Farbento Ein blaues mit Kobalt gefärbtes Glas zum Beispiel löscht das Gelb des Spectrum fa ganz aus, läfst aber die blauen Strahlen des zerstreuten weifsen Lichts ungeschwäc durchgehen, so dafs diese, mit dem durch Absorption geschwächten Gelb sich mischen eine weifse oder selbst blauweifse Mischfarbe an Stelle des Gelb geben, welche Misc farbe aber nicht, wie D. Brewster glaubte, Licht von einem einzigen Grade der Brec barkeit enthält, sondern deren Licht durch ein zweites Prisma wieder zerlegt werde kann in verschiedenfarbiges und verschieden brechbares Licht. Stellt man denselbe Versuch dagegen an einem von diffusem Lichte vollständig befreiten Spectrum an, s bleibt das homogene Gelb auch bei den äufsersten Graden der Schwächung durch ei blaues Glas rein gelb. Wir dürfen deshalb auch nicht, wie Brewster es gethan ha

aus diesem und ähnlichen Versuchen schliefsen, dafs das Licht gleicher Brechbarkeit und Wellenlänge noch wieder aus drei verschiedenen Lichtarten von rother, gelber und blauer Farbe zusammengesetzt sei, welche verschiedenfarbigen Lichter nur in verschiedenen Theilen des Spectrum verschieden gemischt seien, und durch die Absorption in farbigen Medien von einander getrennt werden könnten. Die Versuche, auf welche er diese Resultate gründet, beruhen theils auf dem erwähnten Umstande, zum Theil auf Contrastwirkungen, zum Theil auf der schon oben erwähnten Abhängigkeit des Farbentons von der Intensität des Lichts[1]. 266

Nach der beschriebenen und in *Fig. 130* schematisch dargestellten Methode kann man das überviolette Spectrum in ganzer Länge dem Auge direct sichtbar machen, ohne eine fluorescirende Substanz anzuwenden, doch müssen für das äufserste Ultraviolet die Prismen und Linsen alle aus Bergkrystall gefertigt sein, nicht aus Glas, weil letzteres die äufsersten ultravioletten Strahlen des Sonnenspectrum merklich absorbirt. Man sieht dann auch sehr deutlich die aufserordentlich grofse Zahl dunkler Linien, welche dieser Theil des Spectrum enthält. Ich glaubte die Helligkeit des im Fernrohre gesehenen ultravioletten Spectrum verstärken zu können, wenn ich in die Ocularblendung eine dünne Schicht Chininlösung zwischen zwei Quarzplatten einschaltete. Dann wird das Spectrum gerade auf die Chininlösung projicirt und erregt deren Fluorescenz. Die fluorescirende Chininfläche wird durch die Ocularlinse betrachtet, und es erscheint nun dem Beobachter ein ähnliches Bild, wie es ohne Chininschicht erscheint, nur ist das Bild dann nicht aus ultraviolettem Lichte, sondern aus weifsblauem Lichte mittlerer Brechbarkeit gebildet. Die Helligkeit dieses Bildes war aber in meinem Fernrohr nicht, wie ich erwartet hatte, gröfser als die des direct gesehenen ultravioletten Lichts, sondern fast gleich, eher kleiner, und die Linien waren wegen der Dicke der Chininschicht undeutlicher. Der Grund davon ist darin zu suchen, dafs durch das Objectivglas des Fernrohrs nur ein schmaler Lichtkegel in das Instrument eindringt, alles oder fast alles Licht dieses Kegels aber auch in das Auge fällt und die Netzhaut beleuchtet, wenn keine Chininschicht eingeschaltet ist. Wenn aber das ultraviolette Licht auf eine Chininlösung fällt, so verbreitet sich das vom Chinin ausgehende Licht nach allen Richtungen des Raums hin, und nur ein sehr kleiner Theil desselben trifft das Auge des Beobachters, daher dessen Netzhaut trotz der grofsen Steigerung der Helligkeit des fluorescirenden Lichts nicht stärker beleuchtet wird. Auf diese Erfahrung ist die oben gegebene Angabe über das Verhältnifs der Helligkeit des unveränderten ultravioletten Lichts und der dadurch auf Chinin erregten Fluorescenz gegründet.

Ist a die Apertur des Objectivglases oder des davor stehenden Prisma, wenn letzteres die Grundfläche des Lichtkegels begrenzt, und r der Abstand des Bildes, und denkt man sich ferner um den Ort des Bildes als Mittelpunkt eine Kugelfläche vom Radius r geschlagen, so würde das ultraviolette Licht, wenn es sich ungestört fortpflanzte, von der Kugelfläche nur eine Fläche von der Gröfse a beleuchten. Wäre das Bild aber auf Chinin gefallen, so würde es die ganze Kugelfläche, deren Gröfse $4\pi r^2$ ist, gleichmäfsig beleuchten. Im ersteren Falle ist das Licht also concentrirter in dem Verhältnisse $\frac{4\pi r^2}{a}$ im Vergleich zum letzteren Falle, und wenn ein Auge, dessen Pupille ganz in das Strahlenbündel beider Lichtarten eingetaucht ist, sie beide gleich hell sieht, so folgt, dafs bei gleicher Verbreitungsweise das Fluorescenzlicht im Verhältnifs $\frac{4\pi r^2}{a}$ heller sein würde. Letzterer Bruch war bei meinem Apparat, nach Anstellung der nöthigen Correctionen, gleich 1200. Daraus folgt also, dafs das ultraviolette Licht auf einem Chininschirme aufgefangen etwa 1200 Mal heller erscheinen mufs, als wenn es auf einer nicht fluorescirenden matten weifsen Fläche von Porzellan aufgefangen wird.

---

[1] Helmholtz, *Pogg. Ann.* LXXXVI. 501. 1852. — Bernard, *Ann. de Chim.* XXXV. 385—438. 1852.

Die Fluorescenz der stark fluorescirenden Substanzen kann man in jedem Spectrum leicht beobachten und erkennen. Handelt es sich aber darum die schwächsten Grade der Fluorescenz wahrzunehmen, wie z. B. die der Netzhaut, so kann man den in *Fig. 130* dargestellten Apparat mit folgenden Abänderungen benutzen. Man macht das erste Spectrum sehr unrein, indem man den ersten Spalt bei *c* ganz wegnimmt und das Prisma *e* ziemlich nahe an den Schirm *f* heranrückt; dabei läfst man die Grenze des Violet auf dem Schirme *f* gerade dessen weit geöffneten Spalt berühren. Von dem Fernrohr *h* läfst man nur die Objectivlinse stehen, und bringt dann in deren Brennpunkt, wo das ultraviolette Licht am meisten concentrirt und von allem weifsen Lichte gereinigt ist, die fraglichen Substanzen. Es giebt kaum irgend welche Stoffe, an denen man unter solchen Umständen nicht Spuren von Fluorescenz wahrnähme. Da bei diesen Versuchen auch das unveränderte ultraviolette Licht noch sichtbar sein kann, so blickt man nach
267 der untersuchten Substanz entweder durch ein gelbes oder grünes Glas (am besten Uranglas), welches das Ultraviolet auslöscht, oder durch ein schwach brechendes Prisma, welches das Ultraviolet von den Farben mittlerer Brechbarkeit trennt. Die Fluorescenz der Linse und der Hornhaut des Auges ist leicht nachzuweisen, wenn man ein lebendes Auge in den Focus ultravioletten Lichts bringt. Die Linse wird so stark beleuchtet, dafs man noch viel besser als bei der Beleuchtung mit gewöhnlichem Licht (S. 25—26) ihre Lage dicht hinter der Iris und ihre Form erkennen kann. Die fluorescirende Linse zerstreut natürlich eine grofse Menge blauweifsen Lichts gleichmäfsig über den ganzen Hintergrund des Auges. Wenn man dagegen ein ultraviolettes Spectrum betrachtet, sieht man dies sehr scharf und fein gezeichnet. Daher darf man nicht daran denken, dafs das überviolette Licht dem Auge etwa wegen der Fluorescenz der Linse sichtbar würde. Letztere könnte nie ein scharf begrenztes Netzhautbild geben.

In derselben Weise wie das Ultraviolett untersucht man das äufserste Roth.

Die Methoden der Wellenmessungen gehören in die physikalische Optik, auf welche ich in dieser Beziehung verweisen mufs.

Vor NEWTON's Zeit bestand die Farbentheorie meist aus unbestimmten Hypothesen. Da das aus dem gesammten weifsen Lichte ausgeschiedene farbige Licht als Theil nothwendig immer geringere Intensität hat als das Ganze, so betrachtete man in älterer Zeit diese Verminderung der Lichtintensität als das Wesentlichste der Farbe, und die Meinung des ARISTOTELES, Farbe entstehe durch die Mischung von Weifs und Schwarz, zählte viele Anhänger. Er selbst ist unschlüssig, ob er diese Vermischung als eine wahre Verschmelzung oder mehr als ein atomistisches Über- oder Nebeneinanderliegen denken soll. Das Dunkel, meint er, müsse durch die Reflexion an den Körpern entstehen, da jede Reflexion das Licht schwäche. Es ist dies die durchgängige Ansicht bis zum Anfange der neueren Zeit z. B. bei MAUROLYCUS, JOH. FLEISCHER, DE DOMINIS, FUNK, NUGUET (siehe GOETHE's Geschichte der Farbenlehre), und in neuerer Zeit hat GOETHE[1] sie noch einmal in seiner Farbenlehre zu vertheidigen gesucht. Dieser geht eigentlich nicht darauf aus eine Erklärung der Farbenerscheinungen im physikalischen Sinne zu geben — als solche genommen, würden seine Sätze sinnlos sein —, sondern er sucht nur die Bedingungen allgemein aufzustellen, unter denen Farben entstehen; diese sollen sich in einem „Urphänomen" deutlich darlegen. Als solches betrachtet er die Farben trüber Medien. Eine grofse Zahl solcher Medien machen durchgehendes Licht roth, auffallendes läfst sie vor dunklem Hintergrunde blau erscheinen. Während nun GOETHE im Allgemeinen der Ansicht des ARISTOTELES folgt, dafs das Licht verdunkelt, oder mit Dunkel gemischt werden müsse, um Farben zu erzeugen, glaubt er in den Erscheinungen der trüben Medien die besondere Art der Verdunkelung gefunden zu haben, welche nicht Grau, sondern Farben erzeuge. Was dadurch am Lichte selbst geändert werde, erklärt er nie. Er spricht wohl davon, dafs das trübe Medium dem Lichte etwas Körperliches, Schattiges gebe, wie es zur Erzeugung der Farbe nöthig sei. Wie er sich dies denkt, deutet er nicht näher an. Unmöglich kann er meinen, dafs von den Körpern etwas

---

[1] GOETHE, *Beiträge zur Optik.* Weimar 1791. 92. — *Zur Farbenlehre.* 1810.

Körperliches mit dem Lichte davonfliege; und einen andern Sinn könnte es doch kaum haben, wenn es eine physikalische Erklärung sein sollte.

Goethe betrachtet ferner alle durchsichtigen Körper als schwach trübe, so auch das Prisma, und nimmt an, dafs das Prisma dem Bilde, welches es dem Beobachter zeigt, von seiner Trübung etwas mittheile. Er scheint dabei gemeint zu haben, dafs das Prisma nie ganz scharfe Bilder entwirft, sondern undeutliche, verwaschene; denn er reiht sie in der Farbenlehre an die Nebenbilder an, welche parallele Glasplatten uud Krystalle von Kalkspath zeigen. Verwaschen sind die Bilder des Prisma allerdings im zusammengesetzten Lichte, vollkommen scharf im einfachen, welches Goethe, wie es scheint, aber nie vor sich gehabt hat, da er die zusammengesetzten Methoden, welche es liefern können, einzuschlagen verschmähte. Betrachte man, meint er, durch das Prisma eine helle Fläche auf dunklem Grunde, so werde das Bild vom Prisma verschoben und getrübt. Der vorangehende Rand desselben werde über den dunklen Grund hinübergeschoben, und erscheine als helles Trübes vor Dunklem blau. Der hinterher folgende Rand der hellen Fläche werde aber von dem vorgeschobenem trüben Bilde des darnach folgenden schwarzen Grundes überdeckt und erscheine als ein Helles hinter einem dunkeln Trüben gelbroth. Warum der vorangehende dunkle Rand vor dem Grunde, der nachbleibende hinter demselben erscheine, und nicht umgekehrt, erklärt er nicht. Auch diese Darstellung der Sache, wenn man sie als physikalische Erklärung fassen wollte, wäre sinnlos. Denn das prismatische Bild, welches in diesen Fällen gesehen wird, ist ein potentielles, also nur der geometrische Ort, in welchem rückwärts verlängert, sich die Lichtstrahlen, welche in das Auge des Beobachters fallen, schneiden würden, und kann also nicht die physikalischen Wirkungen eines trüben Mittels ausüben. Es sind diese Goethe'schen Dar- 268
stellungen eben nicht als physikalische Erklärungen, sondern nur als bildliche Versinnlichungen des Vorgangs aufzufassen. Er geht überhaupt in seinen naturwissenschaftlichen Arbeiten darauf aus, das Gebiet der sinnlichen Anschauung nicht zu verlassen, jede physikalische Erklärung mufs aber zu den Kräften aufsteigen, und die können natürlich nie Object der sinnlichen Anschauung werden, sondern nur Objecte des begreifenden Verstandes.

Die Versuche, welche Goethe in seiner Farbenlehre angiebt, sind genau beobachtet und lebhaft beschrieben; über ihre Richtigkeit ist kein Streit. Die entscheidenden Versuche mit möglichst gereinigtem einfachen Lichte, auf welche Newton's Theorie gegründet ist, scheint er nie nachgemacht oder gesehen zu haben. Seine übermäfsig heftige Polemik gegen Newton gründet sich mehr darauf, dafs dessen Fundamentalhypothesen ihm absurd erscheinen, als dafs er etwas Erhebliches gegen seine Versuche oder Schlufsfolgerungen einzuwenden hätte. Der Grund aber, weshalb ihm Newton's Annahme, das weifse Licht sei aus vielfarbigem zusammengesetzt, so absurd erschien, liegt wieder in seinem künstlerischen Standpunkte, der ihn nöthigte alle Schönheit und Wahrheit unmittelbar in der sinnlichen Anschauung ausgedrückt zu suchen. Die Physiologie der Sinnesempfindungen war damals noch unentwickelt; die Zusammensetzung des Weifs, welche Newton behauptete, war der erste entschiedene empirische Schritt zu der Erkenntnifs der nur subjectiven Bedeutung der Sinnesempfindungen. Und Goethe hatte daher ein richtiges Vorgefühl, wenn er diesem ersten Schritte heftig opponirte, welcher den „schönen Schein" der Sinnesempfindungen zu zerstören drohte.

Das grofse Aufsehen, welches Goethe's Farbenlehre in Deutschland machte, beruhte zum Theil darauf, dafs das grofse Publicum, ungeübt in der Strenge wissenschaftlicher Untersuchungen, natürlich mehr geneigt war einer künstlerisch anschaulichen Darstellung des Gegenstandes zu folgen, als mathematisch physikalischen Abstractionen. Dann bemächtigte sich auch die Hegel'sche Naturphilosophie der Goethe'schen Farbenlehre für ihre Zwecke. Hegel wollte ähnlich wie Goethe in den Naturerscheinungen den unmittelbaren Ausdruck gewisser Ideen oder gewisser Stufen des dialectisch sich entwickelnden Denkens sehen, darin liegt seine Verwandtschaft mit Goethe und sein principieller Gegensatz gegen die theoretische Physik.

Descartes[1] machte bei Gelegenheit seiner Untersuchungen über die Theorie des Regenbogens eine neue Hypothese, indem er annahm, die Theilchen, aus denen das Licht bestehe, hätten nicht blos eine geradlinige Bewegung, sondern rotiren auch noch um ihre Axe und von der Rotationsgeschwindigkeit hänge die Farbe ab. Die Rotation und somit auch die Farbe könne übrigens geändert werden durch Einwirkung durchsichtiger Körper. Ähnliche mechanische Vorstellungen bildeten sich Hooke und de la Hire; letzterer liefs die Farben von der Stärke abhängen, mit der das Licht den Sehnerven trifft.

Endlich bewies Newton[2] die Zusammensetzung des weifsen Lichts, und schied einfaches Licht aus, zeigte, dafs dies farbig erscheine, dafs dessen Farbe durch Absorption und Brechung nicht weiter verändert werden könne, dafs verschiedenfarbiges Licht verschiedene Brechbarkeit besitze, und dafs die Farben der natürlichen Körper durch verschiedene Absorption und Reflexion der verschiedenartigen Lichtstrahlen entständen. Übrigens erklärt er die Farbe der Lichtstrahlen schon durchaus aus ihrer Wirkung auf die Netzhaut; nicht die Lichtstrahlen selbst seien roth, sondern sie bewirkten die Empfindung des Roth. Er folgte der Emanationstheorie des Lichtes; Hypothesen über den physikalischen Unterschied der verschiedenfarbigen Lichtarten machte er nicht.

Ziemlich gleichzeitig, 1690, hatte Huyghens die Hypothese aufgestellt, dafs das Licht in Undulationen eines feinen elastischen Medium bestehe; diese Hypothese brachte, Euler[3] mit Newton's Entdeckungen in Verbindung, und folgerte daraus, dafs die einfachen Farben sich durch ihre Schwingungsdauer unterschieden; aber freilich nahm er zuerst an, die rothen machten die schnelleren Schwingungen, und fand erst später das Richtige; Hartley stützte diese Ansicht richtig auf die Farben dünner Blättchen. Eine bestimmte Entscheidung darüber wurde erst möglich, als Th. Young und Fresnel das Princip der Interferenz entdeckt hatten, und durch diese Entdeckung gewann auch erst die Undulationstheorie eine allgemeine Anerkennung.

Gegen Newton's Folgerung, dafs die Farbe der Strahlen von der Brechbarkeit abhänge, Strahlen von einem constanten Grade der Brechbarkeit übrigens homogen und von unveränderlicher Farbe seien, trat D. Brewster auf. Er meinte beobachtet zu haben, dafs homogenes Licht, wenn es durch farbige Mittel gehe, seine Farbe ändern könne, und meinte auf diese Weise aus homogenem Lichte Weifs ausscheiden zu können. Er schlofs daraus, dafs es dreierlei verschiedene Arten Licht, den drei sogenannten Grundfarben entsprechend, gebe, rothes, gelbes und blaues, und dafs jede dieser Lichtarten Strahlen von jedem Grade der Brechbarkeit innerhalb der Grenzen des Spectrum liefere, aber so, dafs das rothe Licht am rothen Ende, das gelbe in der Mitte, das Blau am blauen Ende überwiege. Farbige Mittel sollten die verschiedenfarbigen Lichter gleicher Brech-
269 barkeit in verschiedener Stärke absorbiren und dadurch von einander trennen können[4]. Gegen Brewster opponirten Airy, Draper, Melloni, Helmholtz[5], F. Bernard[6]. Aufser einigen Fällen, wo durch Contrastwirkungen der nebenstehenden lebhafteren Farben der Farbenton der durch farbige Gläser sehr geschwächten Strahlen verändert erschien, und anderen Fällen, wo die oben erwähnte Änderung der Farbe mit der Lichtstärke in Betracht kam, rühren die meisten von Brewster geltend gemachten Beobachtungen von dem oben schon erwähnten Umstande her, dafs kleine Mengen weifsen Lichts durch mehrfache Reflexion an den Oberflächen oder durch diffuse Reflexion in der Substanz der Prismen und der Augenmedien über das Gesichtsfeld zerstreut waren.

Die Vergleichung der einfachen Farben mit den Tönen wurde von Newton zuerst angestellt; er verglich aber nur die Breite der Farbenstreifen im Spectrum von Glasprismen mit den musikalischen Intervallen der phrygischen Tonleiter. Schon Lambert

---

1 R. Cartesius, *de meteoris.* 1637. Cap. VIII.
2 J. Newton, *Philosoph. Transact.* 1675. — *Optics*, London 1704.
3 L. Euler, *Nova theoria lucis colorum, in Opusculis.* Berol. 1746. — *Mém. d. l'Acad. de Berlin.* 1752. p. 271.
4 D. Brewster, *Edinb. Transact.* IX. P. II. p. 433. 1831. — Ebenda XII. P. I. 123. *Poggend. Ann.* XXIII. 435.
5 H. Helmholtz, *Poggend. Ann.* LXXXVI. 501. 1852.
6 F. Bernard, *Ann. d. Chim.* (3.) XXXV. 385--438. 1852.

bemerkte, dafs in dieser Abtheilung viel Willkührliches wäre, da keine festen Grenzen im Spectrum beständen. Nur soviel sei richtig, dafs die Farbenstreifen vom Roth gegen das Violet dergestalt in der Breite anwachsen, dafs man nicht sowohl die Summe ihrer Breiten, als die Summe ihrer Verhältnisse zum Maafse derselben nehmen mufs, so wie es in der Musik mit den Tönen geschieht. Ähnlich urtheilte DE MAIRAN. Indessen suchte doch Pater CASTEL auf diese Vergleichung ein Farbenclavier zu gründen, welches durch eine gewisse Farbenfolge ähnliche Wirkungen, wie die Musik hervorbringen sollte. HARTLEY, welcher die Unterschiede der Farben auf Schwingungen verschiedener Länge zurückzuführen suchte, gewann dadurch die Möglichkeit einer directeren Vergleichung mit den Schwingungszahlen der Töne. In demselben Sinne bemerkte auch TH. YOUNG, dafs der ganze Umfang des damals bekannten Theils des Spectrum einer grofsen Sexte gleich kommt, dafs Roth, Gelb, Blau etwa den Verhältnissen 8 : 7 : 6 entsprechen. Nach dem nun in neuerer Zeit die Gröfse der Wellenlängen für die verschiedenen Farben namentlich durch FRAUNHOFER's Messungen genauer bekannt geworden ist, hat DROBISCH[1] wieder versucht, die Vergleichung der Farbenscala mit der Tonscala herzustellen. Er vergleicht wie NEWTON die Breite der Farben mit den Intervallen der sogenannten phrygischen Tonart $1 : \frac{9}{8} : \frac{6}{5} : \frac{4}{3} : \frac{3}{2} : \frac{5}{3} : \frac{16}{9} : 2$. Da aber das Verhältnifs der Wellenlängen für die Grenzen des gewöhnlich sichtbaren Spectrum, wie es FRAUNHOFER ausgemessen hat, kleiner ist als eine Octave, so erhebt er alle jene Verhältnifszahlen in eine Potenz, als deren Exponent er erst $\frac{2}{3}$, später $\frac{6}{7}$ wählte. Dadurch erhält er folgende Tafel, in der die Wellenlängen in Milliontheilen eines Millimeters ausgedrückt sind:

	688,1	
Roth		Linie B = 687,8
		C = 655,6
	622,0	
Orange		D = 588,8
	588,6	
Gelb		
	537,7	
Grün		E = 526,5
	486,1	
Blau		F = 485,6
	446,2	
Indigo		G = 429,6
	420,1	
Violet		H = 396,3.
	379,8	

Die Grenzen der Farben unter sich stimmen in diesem Schema ziemlich gut mit den natürlichen überein; zweckmäfsig möchte es vielleicht sein statt der kleinen Terz die grofse zu nehmen, also die ganze Vergleichung auf die Durtonleiter zu bauen, wie DROBISCH auch selbst bemerkt; dann fiele die Grenze des Orange und Gelb, die im obigen Schema im Goldgelb bei D liegt, dem reinen Gelb näher. Aber wenn auch in sofern die Vergleichung stimmt, so vergesse man nicht, dafs der ganze Sinn der Vergleichung zwischen Schall- und Lichtwellen schon durch die Erhebung der musikalischen Verhältnisse in eine gebrochene Potenz verloren gegangen ist, dafs die Enden des

[1] DROBISCH, *Abhandlung der sächs. Gesellsch. der Wiss.* Bd. II. *Sitzungsberichte* derselben Novbr. 1852. — *Poggend. Ann.* LXXXVIII. 519–526.

Spectrum willkührlich abgebrochen sind, da in der That die schwach wirkenden Endfarben des Spectrum an beiden Seiten viel weiter reichen, dafs die NEWTON'sche Abtheilung der 7 Hauptfarben schon willkührlich gemacht und nur der musikalischen Analogien wegen so gewählt ist — Goldgelb verdiente mindestens ebenso gut seinen Platz
270 zwischen Gelb und Orange, wie Indigo zwischen Blau und Violet, ebenso Gelbgrün und Blaugrün, — und dafs endlich Grenzen der Farben im Spectrum wirklich nicht existiren, sondern von uns nur der Nomenclatur zu Liebe willkührlich gezogen werden. Ich selbst glaube deshalb, dafs diese Vergleichungen gar keinen Werth haben.

Endlich hat auch UNGER[1] versucht, auf die Vergleichung der Lichtwellenverhältnisse mit den musikalischen Intervallen eine Theorie der ästhetischen Farbenharmonie zu gründen. In seinen factischen Angaben über die harmonirenden Farben scheint viel Wahres zu sein, was grofsentheils aus Kunstwerken richtig abstrahirt ist; aber seine Theorie, die Vergleichung mit den musikalischen Verhältnissen, ist etwas gewaltsam erzwungen. Auf seiner chromharmonischen Scheibe hat er Farbentöne zusammengestellt, die den 12 halben Tönen der Octave entsprechen sollen, zu welchem Zweck er aber zwischen Violet und Roth purpurrothe Farben einschaltet, die als einfache Farben nicht existiren. In diese purpurnen Töne läfst er die FRAUNHOFER'schen Linien G, H, A fallen, während die beiden ersteren das reine Violet begrenzen, die letztere dem reinen Roth angehört. Die einfachen Farben, welche über das Violet hinausliegen, sind in Wahrheit blau, nicht purpurroth. Die vollkommenste Harmonie soll dem Duraccord entsprechen. Dieser liefert auf seiner Scheibe z. B. die viel gesehene Zusammenstellung der italienischen Maler: Roth, Grün, Violett. Aber der richtige Duraccord, wenn man Grün als grofse Terz nimmt, wäre Roth, Grün, Indigblau. Den antiken Malern fehlt ein gutes Roth, sie brauchen Mennige, Orange, dafür und bilden den Accord: Orange, Grünblau, röthlich Violet. Die Mollaccorde geben einen sanfteren und trüberen Eindruck, die verminderten und übermäfsigen Dreiklänge geben einen pikanten, weniger künstlerisch reinen Eindruck. Ich glaube, dafs man für die richtigen Beobachtungen der Farbenwirkung, die sich bei UNGER finden, statt der erzwungenen musikalischen Analogien einen anderen Grund suchen mufs. Die gesättigten Farben bilden in der That eine in sich zurücklaufende Reihe, wenn wir die Lücke zwischen den Enden des Spectrum durch die purpurnen Töne ergänzen, und dem Auge scheint es angenehm zu sein, wenn ihm drei Farben geboten werden, die ungefähr gleichweit in der Reihe auseinanderliegen. Die oben erwähnte berühmte Zusammenstellung der italienischen Maler: Roth, Grün, Violett, welche keinem richtigen Duraccorde entspricht, entspricht in Wirklichkeit den drei Grundfarben von TH. YOUNG, und darin kann der Grund ihrer ästhetischen Wirkung liegen. Andere Farben, in richtiger Distanz von einander gewählt, machen einen ähnlichen befriedigenden Eindruck. Wo zwei derselben sich zu sehr nähern, wird der Eindruck minder rein. Das ist vielleicht die Bedeutung von UNGER's Beobachtungen; übrigens kann offenbar bei der sogenannten Farbenharmonie von einer so strengen Bestimmung wie bei den musikalischen Intervallen nicht die Rede sein.[2]

---

[1] UNGER, *Disque chromharmonique*. Göttingen 1854. *Poggend. Ann.* LXXXVII. 121—128. C. R. XL. 239.

[2] Eingehendere Auskunft über die bisher angestellten Vergleichungen der einfachen Farben mit den Tonintervallen findet man:

1703. I. NEWTON. *Optics.* Lib. I. Pars 2. Prop. 3.
1725—35. L. B. CASTEL. *Clavecin oculaire* in *Journ. de Trevoux.*
1737. DE MAIRAN *Mém. de l'Acad. des Sc.* 1737. p. 61.
1772. LAMBERT. *Farbenpyramide.* Augsburg 1772. § 19.
1772. HARTLEY in PRIESTLEY *Geschichte der Optik.* S. 549.
1802. TH. YOUNG *Phil. Transact.* 1802. p. 38.

§ 20. Die zusammengesetzten Farben.

Wir haben gesehen, dafs homogenes Licht von verschiedener Brechbarkeit und Schwingungsdauer die Empfindung verschiedener Farben in unserem Sehnervenapparate hervorbringt. Wenn nun ein und dieselbe Stelle der Netzhaut gleichzeitig von Licht zweier oder mehrerer verschiedener Grade der Schwingungsdauer getroffen wird, so entstehen neue Arten von Farbenempfindungen, welche im Allgemeinen von denen der einfachen Farben des Spectrum verschieden sind, und welche das Eigenthümliche haben, dafs aus der Empfindung der zusammengesetzten Farbe nicht erkannt werden kann, welche einfache Farben in ihr enthalten sind. Es läfst sich vielmehr im Allgemeinen die Empfindung jeder beliebigen zusammengesetzten Farbe durch mehrere Arten der Zusammensetzung verschiedener Spectralfarben hervorbringen, ohne dafs es auch dem geübtesten Sinnesorgane möglich wäre, ohne Hülfe physikalischer Instrumente zu ermitteln, welche einfache Farben in dem zusammengesetzten Lichte verborgen sind. Es unterscheidet sich dadurch das Auge in seiner Reaction gegen die Ätherschwingungen wesentlich vom Ohre, welches, von Tonwellen verschiedener Schwingungsdauer getroffen, die einzelnen Töne zwar zu einer Gesammtempfindung eines Accords verbindet, aber doch jeden einzelnen einzeln darin wahrnehmen kann, so dafs zwei aus verschiedenen Tönen zusammengesetzte Accorde dem Ohre niemals identisch erscheinen, wie es für das Auge verschiedene Aggregate zusammengesetzter Farben sein können. 272

Was hier gesagt ist, bezieht sich auf die unmittelbare Sinnesempfindung, und wird keineswegs umgestofsen durch die Erfahrung, dafs uns ein Act des Urtheils zuweilen die Zusammensetzung wenigstens der Hauptsache nach richtig erkennen läfst. Wer einige Erfahrung über die Resultate der Mischung farbigen Lichtes hat, glaubt zuweilen in einer Mischfarbe die einfachen Farben, welche sie zusammensetzen, wirklich zu sehen, und giebt an, ob mehr von der einen oder anderen darin sei. Indessen wird dann ein Act des auf Erfahrung gegründeten Urtheils mit einem Acte der Empfindung verwechselt. Wenn man z. B. Purpur betrachtet, so kann man wissen, dafs es überwiegend aus Roth und Violet zusammengesetzt sei, und in welchem Verhältnisse beide ungefähr gemischt sind. Aber man kann nicht wissen, ob in der Farbe noch untergeordnete Mengen von Orange oder Blau ent- 273

1852. Drobisch. *Abhandl. d. sächsischen Gesellsch. der Wiss.* Bd. II. *Sitzungsberichte derselben.* Novbr. 1852. *Pogg. Ann.* LXXXVIII. 519—526.
Unger, *Pogg. Ann.* LXXXVII. 121—128. C. R. XL. 239.
1854. Unger, *Disque chromharmonique.* Göttingue.
1855. H. Helmholtz, *Sitzbr. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin* 1855. S. 760. *Inst.* 1856. p. 222.
J. J. Oppel. *Über das optische Analogon der musikalischen Tonarten. Jahresber. der Frankf. Vers.* 1854—55. p. 47—55.
E. Chevreul. *Remarques sur les harmonies des couleurs.* C. R. XL. 239 bis 242; *Edinb. Journ.* (2.) I. 166—168.

halten sind. Wäre es die Empfindung und nicht blos das auf Erfahrung gestützte Urtheil, so müfste man das letztere ebenso gut ermitteln können, als das erstere. Beim Weifs, welches die gröfste Mannigfaltigkeit der Zusammensetzung zuläfst, wird es Niemandem einfallen, heraussehen zu wollen, welche einfachen Farben darin enthalten sind, ob zwei, oder drei, oder vier, und welche besonderen. Wie leicht aber Täuschung hier möglich ist, zeigt das Grün, in welchem, getäuscht durch die Mischung der Malerfarben, sowohl das Gelb als das Blau zu sehen Männer wie Goethe und Brewster behauptet haben, während jetzt nachgewiesen worden ist, dafs Grün aus jenen Farben gar nicht zusammengesetzt werden kann, wenn man nicht Modificationen derselben nimmt, die selbst schon grünlich sind.

Am auffallendsten wird die Täuschung, als könnte man zwei einfache Farben gleichzeitig an demselben Orte sehen, wenn eine Fläche gleichzeitig von zwei verschiedenen Farben erleuchtet wird, aber so dafs an einzelnen Stellen die eine, an anderen Stellen die andere überwiegt, namentlich wenn die eine den Grund füllt, die andere darauf eine regelmäfsige Zeichnung bildet. Besonders günstig ist es auch, wenn die Zeichnung oder die Flecken ihren Ort wechseln. Dann glauben wir oft die beiden Farben gleichzeitig, die eine gleichsam durch die andere hindurch an demselben Orte zu sehen. Wir verfahren in solchen Fällen ebenso, als sähen wir Objecte durch einen farbigen Schleier, oder von einer farbigen Fläche gespiegelt. Wir haben durch Erfahrung gelernt, uns auch unter solchen Umständen ein richtiges Urtheil über die wahre Farbe des Objects zu bilden, und dieselbe Scheidung zwischen der Farbe des Grundes und des darauf unregelmäfsig verbreiteten Lichts nehmen wir dann auch in allen ähnlichen Fällen im Urtheile vor, wobei uns später zu beschreibende subjective Wirkungen der Nachbilder unterstützen. Will man die Empfindung der Mischfarben ungestört haben, so mufs eben das gemischte Licht in dem ganzen Felde, wo es verbreitet ist, gleichmäfsig gemischt sein.

In einzelnen Fällen, namentlich wenn zwei Farben, die im Spectrum weit auseinander liegen, ein scharf begrenztes Feld füllen, erkennen wir die Farben an den Rändern mittels der Farbenzerstreuung im Auge[1] von einander gesondert. Auch das giebt natürlich keinen brauchbaren Einwurf gegen den aufgestellten Satz, da in diesem Falle das Auge selbst wie ein Prisma wirkt, und bewirkt, dafs verschiedene Theile der Netzhaut von dem verschiedenfarbigen Lichte getroffen werden.

Die Methoden um *verschiedenfarbiges Licht zusammenzusetzen*, und die Wirkung des zusammengesetzten Lichts auf das Auge zu prüfen, sind die folgenden:

274 1) Man bringt verschiedene Spectra oder verschiedene Theile desselben

[1] S. oben S. 158.

Spectrum zum Decken. So erhält man die Zusammensetzungen je zweier einfacher Farben.

2) Man blickt durch eine ebene Glastafel in schräger Richtung nach einer farbigen Fläche, während die dem Beobachter zugekehrte Seite der Glastafel ihm gleichzeitig Licht eines andersfarbigen Objects durch Reflexion zusendet. So gelangt in das Auge des Beobachters gleichzeitig von der Glastafel durchgelassenes Licht der einen und reflectirtes Licht der anderen Farbe, und beide treffen dieselben Theile der Netzhaut. Auf diese Weise kann man namentlich bequem die zusammengesetzten Farben der Naturkörper weiter zusammensetzen.

3) Man läfst auf dem Farbenkreisel Scheiben schnell rotiren, auf denen verschiedenfarbige Sectoren angebracht sind. Ist die Rotation schnell genug, so verbinden sich die Eindrücke, welche die verschiedenen Farben auf der Netzhaut machen, zur Empfindung einer einzigen Farbe, der Mischfarbe.

4) Man betrachtet die Grenze zweier verschiedenfarbiger Felder durch n
ein doppeltbrechendes Prisma aus Kalkspath, so dafs die Doppelbilder der Grenzlinie auseinander geschoben werden. Zwischen diesen beiden Bildern der Grenzlinie erscheint dann die Mischfarbe.

Alle vier Methoden geben in Rücksicht der Farbenmischung gleiche 274
Resultate, ihre Ausführung wird unten specieller beschrieben werden. Nicht angewendet werden darf die Methode der Mischung pulveriger oder flüssiger Pigmente, welche von Newton und vielen anderen Physikern als gleichgeltend mit der ersten Methode, der Mischung von Spectralfarben, betrachtet worden ist. Denn der gemischte Farbstoff giebt keineswegs ein Licht, welches die Summe der von den einzelnen, in der Mischung enthaltenen Farbstoffen reflectirten Lichter wäre.

Nehmen wir, um dies deutlich zu machen, zunächst farbige Flüssigkeiten. Das Licht, welches durch sie hindurchgeht, wird durch Absorption gefärbt, d. h. es werden von den verschiedenfarbigen Strahlen des weifsen Lichts einige, schon nachdem sie eine kurze Strecke in der Flüssigkeit zurückgelegt haben, so geschwächt, dafs sie verschwinden, während andere längere Strecken der Flüssigkeit durchlaufen können, ohne merklich geschwächt zu werden. In dem ausgetretenen Lichte überwiegen die letzteren, und dieses Licht hat also die Farbe derjenigen Strahlen, welche am wenigsten von der Flüssigkeit absorbirt werden. Diese Absorption einzelner Farben des Spectrum kann man nachweisen, wenn man solches Licht, welches durch eine farbige Flüssigkeit (oder farbiges Glas) gegangen ist, nachher ein Prisma passiren läfst, und ein Spectrum bildet. In dem Spectrum fehlt dann eine Reihe von Farben, oder ist sehr schwach, während die Theile des Spectrum, deren Farbe der der Flüssigkeit entspricht, die gewöhnliche Helligkeit haben.

Mischt man nun zwei farbige Flüssigkeiten miteinander, welche sich gegenseitig chemisch nicht verändern, so dafs die Absorptionskraft jeder einzelnen für die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen unverändert bleibt, so gehen nur solche Strahlen durch die Mischung, welche von keiner der beiden

Flüssigkeiten absorbirt werden. Das sind gewöhnlich die Strahlen, welche in der prismatischen Reihe in der Mitte liegen zwischen den Farben der beiden gemischten Flüssigkeiten. Die meisten blauen Körper, z. B. die Kupferoxydsalze, lassen die blauen Strahlen ungeschwächt, etwas weniger gut die grünen und violetten, schlecht dagegen die rothen und gelben hin-
275 durch. Die gelben Farbstoffe dagegen lassen fast alle das Gelb ungeschwächt, gut auch noch Roth und Grün, schlechter Blau und Violet hindurch. Unter solchen Umständen wird durch eine Mischung einer gelben und blauen Flüssigkeit meistentheils das Grün am besten hindurchgehen, weil die blaue Flüssigkeit die rothen und gelben, die gelbe Flüssigkeit die blauen und violetten Strahlen zurückhält. Es ist eine Wirkung derselben Art, als wenn man Licht durch zwei verschiedenfarbige Glasplatten hinter einander gehen läfst, wodurch es immer viel mehr geschwächt wird, als wenn es durch zwei Platten gleicher Farbe gegangen ist. Aber es ist klar, dafs hierbei keine Summation des Lichtes stattfindet, welches jede einzelne Flüssigkeit für sich hindurchläfst, sondern im Gegentheil eine Art von Subtraction, insofern die gelbe Flüssigkeit von den durch die blaue gegangenen Strahlen noch alle die wegnimmt, welche in ihr der Absorption verfallen. Daher sind auch Mischungen farbiger Flüssigkeiten in der Regel viel dunkler als jede einzelne Flüssigkeit für sich.

Bei den pulverigen Farbstoffen verhält es sich ganz ähnlich. Wir müssen jedes einzelne Pulvertheilchen eines Farbstoffes als ein kleines durchsichtiges Körperchen betrachten, welches das Licht durch Absorption färbt. Allerdings ist das Pulver solcher Farbstoffe im Ganzen genommen in hohem Grade undurchsichtig. Indessen wo wir Gelegenheit haben Farbstoffe in zusammenhängenden Massen von gleichmäfsig dichter Structur zu sehen, finden wir sie wenigstens in dünnen Blättern durchsichtig. Ich erinnere an den krystallisirten Zinnober, Grünspan, Chromblei, das blaue Kobaltglas u. s. w., welche wir in fein pulverigem Zustande als Farbstoffe benutzen.

Wenn nun Licht auf ein solches aus durchsichtigen Theilen bestehendes Pulver fällt, wird ein kleiner Theil an der oberen Fäche reflectirt, der Rest dringt ein, und wird erst von den tiefer liegenden Begrenzungsflächen der Pulvertheilchen zurückgeworfen. Eine einzelne Tafel von weifsem Glase reflectirt von senkrecht einfallendem Lichte $1/25$, zwei solche $1/13$, eine grofse Zahl fast alles. Bei Pulver aus weifsem Glase müssen wir folglich schliefsen dafs bei senkrechter Incidenz ebenfalls nur $1/25$ des auffallenden Lichts von der obersten Schicht reflectirt wird, das übrige von den tieferen Schichten. Ebenso mufs es sich für blaues Licht bei blauem Glase verhalten. Es wird also bei farbigen Pulvern stets nur ein sehr kleiner Theil des Lichtes welches sie geben, von der obersten Schicht reflectirt, bei weitem das meiste aus tieferen Schichten. Das von der obersten Fläche reflectirte Licht ist weifs, wenn die Reflexion nicht eine metallische ist; erst das aus den tieferen Flächen zurückkehrende ist durch Absorption gefärbt, um so tiefer, je länger sein Weg in der Substanz gewesen ist. Daher ist auch gröberes Pulver

sselben Farbstoffs dunkler gefärbt als feineres. Bei der Reflexion kommt nämlich nur auf die Zahl der Oberflächen an, nicht auf die Dicke der eilchen. Sind letztere gröfser, so mufs das Licht einen längeren Weg in r Substanz zurücklegen, um die gleiche Menge reflectirender Oberflächen treffen, als wenn sie kleiner sind. Die Absorption der absorbirbaren ahlen ist also in einem groben Pulver stärker, als in einem feineren. nes hat eine dunklere und gesättigtere Farbe als letzteres. Die Reflexion
den Oberflächen der Pulvertheilchen wird geschwächt, wenn wir ein 276
ssiges Verbindungsmittel zwischen sie bringen, dessen Brechungsvermögen n ihrigen näher steht als das der Luft. Trockene Pulver von Pigmenten d deshalb in der Regel weifslicher, als wenn sie mit Wasser oder mit n noch stärker brechenden Öl durchtränkt sind.

Wenn nun ein gemischtes farbiges Pulver Licht nur aus der obersten hicht reflectirte, in welcher Theilchen von beiden Farben gleichmäfsig rch einander liegen, würde das zurückgeworfene Licht wirklich die Summe r Lichter sein, welche die einzelnen ungemischten Pulver geben. Für die öfsere Menge reflectirten Lichtes aber, welches aus den tieferen Schichten rückkommt, ist das Verhältnifs ebenso wie bei gemischten farbigen Flüssigiten, oder hinter einander gelegten farbigen Gläsern. Dieses Licht hat auf nem Wege Pulvertheilchen von beiderlei Art passiren müssen, und enthält also nur noch diejenigen Lichtstrahlen, welche durch beide Arten von lverkörnchen hindurchgehen können. Für den gröfseren Theil des Lichtes, lches von gemischtem Farbenpulver zurückgeworfen wird, findet also nicht ne Addition beider Farben, sondern in dem Sinne, wie vorher erläutert rde, eine Subtraction statt. Daher erklärt sich auch die Thatsache, dafs Mischungen von Pigmenten viel dunkler sind, als die einfachen Pigmente, mentlich, wenn ihre Farben weit auseinander liegen. Zinnober und Ultrarin geben z. B. ein Schwarzgrau, welches kaum einen Schein von Violet, r Mischfarbe des rothen und blauen Lichtes, hat, weil das eine Pigment Strahlen des anderen fast vollständig ausschliefst. Bequem kann man ese Unterschiede sichtbar machen, wenn man auf einen Farbenkreisel, *g. 131*, am Rande Sectoren *a* und *b* mit zwei einfachen Farbstoffen überht, in der Mitte *c* aber die Mischung der Farbstoffe bst aufträgt. So geben Kobaltblau und Chromgelb am nde, wo sie getrennt aufgetragen sind, und beim Drehen r Scheibe sich der Eindruck ihres farbigen Lichtes st in der Netzhaut verbindet, weifsliches Grau, während e materielle Mischung ein viel dunkleres Grün giebt.

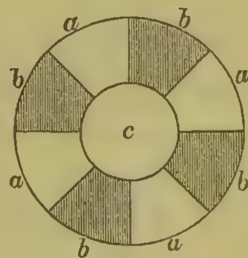


Fig. 131.

Es dürfen also die Resultate der Mischung von lerfarben durchaus nicht benutzt werden, um daraus hlüsse auf die Mischung farbigen Lichtes zu machen. ist z. B. der Satz, dafs Gelb und Blau Grün giebt, für die Mischung n Malerfarben ganz richtig, aber fälschlich auf die Mischung farbigen chtes übertragen worden.

Obgleich nun die Bezeichnungen Farbenmischung und Mischfarb von der Mischung der Farbstoffe hergenommen sind, so wollen wir sie zu nächst auch für die Zusammensetzung farbigen Lichtes beibehalten, auf welch sie nicht ganz rechtmäfsiger Weise übertragen wurden, machen aber darauf au merksam, dafs, wenn nicht ausdrücklich das Gegentheil gesagt ist, darunte nicht die Mischung von Farbstoffen und deren Resultat verstanden werden dar
n Wo dies deutlicher hervorgehoben werden soll, können wir diese Zusammen setzung auch als Addition der Farben bezeichnen, was später gerechtfertig werden soll.

276 Durch die gleichzeitige Einwirkung verschiedener einfacher Farben a dieselbe Stelle der Netzhaut entsteht nun eine neue Reihe von Farbe empfindungen, welche durch die einfachen Spectralfarben nicht hervorgebrac werden. Diese neuen Empfindungen sind die des Purpurs, des Weifs un der Übergangsstufen des Weifs einerseits in die Spectralfarben und Purp andererseits.

277 Purpurroth entsteht durch Mischung derjenigen einfachen Farbe welche am Ende des Spectrum stehen. Am gesättigtesten fällt es aus, we man Violet und Roth mischt; weifslicher wird es, Rosenroth, wenn m statt des Violet Blau und statt des Roth Orange nimmt. Das Purpurrot welches durch Carminroth in das Roth des Spectrum übergeht, ist durcha verschieden von den beiden Farben Roth und Violet, welche an den äufserst Grenzen des gewöhnlich sichtbaren Spectrum stehen, bildet aber für d Auge einen Übergang zwischen beiden mit continuirlichen Zwischenstufe so dafs dadurch die Reihe der gesättigten Farben, d. h. derjenige welche die wenigste Ähnlichkeit mit Weifs haben, in sich zurücklaufend wi

Weifs entsteht durch Zusammensetzung verschiedener Paare von e fachen Farben. Farben, welche in einem bestimmten Verhältnisse gemisc Weifs geben, nennt man complementäre Farben. Es sind unter d Spectralfarben complementär:

Roth	und	Grünlich Blau
Orange		Cyanblau
Gelb		Indigblau
Grünlich Gelb		Violet.

Das Grün des Spectrum hat keine einfache Complementärfarbe, sondern n eine zusammengesetzte, nämlich Purpur.

Um zu ermitteln, ob etwa regelmäfsige Verhältnisse zwischen d Wellenlängen der einfachen complementären Farben bestehen, habe ich eine Reihe complementärer Farbenpaare die Wellenlängen bestimmt, u lasse diese Messungen hier folgen. Die Längeneinheit ist ein Milliontl eines Millimeters.

Farbe.	Wellenlänge.	Complementärfarbe.	Wellenlänge.	Verhältnifs der Wellenlängen.
th	656,2	Grünblau	492,1	1,334
ange	607,7	Blau	489,7	1,240
ldgelb	585,3	Blau	485,4	1,206
ldgelb	573,9	Blau	482,1	1,190
lb	567,1	Indigblau	464,5	1,221
lb	564,4	Indigblau	461,8	1,222
üngelb	563,6	Violet	von 433 ab	1,301

Violet mufsten seiner Lichtschwäche wegen die äufsersten Strahlen von Wellenlänge 433 ab alle zusammengefafst werden.

Nach diesen Messungen sind in *Fig. 132* in horizontaler Richtung Wellenlängen der Farben von 400 bis 700 der obigen Einheiten aufragen, in verticaler die der zugehörigen Complementärfarben. Die Curven ücken also die Wellenlänge der Complementärfarbe als Function der ellenlänge jeder einfachen Farbe aus. Am Rande stehen die Namen der n Wellenlängen entsprechenden Farben. Die wirklich gemessenen Werthe d durch Kreuzchen bezeichnet.

Diese Curven zeigen eine auffallende Unregelmäfsigkeit der Vertheilung 278 r complementären Farben im Spectrum an. Wenn man auf der horintalen Abscissenlinie vom Violet zum Roth fortschreitet, ändert sich die ellenlänge der Complementärfarbe erst, wie die fast horizontal liegende rve anzeigt, äufserst langsam. Gengt man zu den grünlich blauen rben, so ändert sich jene Länge gegen aufserordentlich schnell, der steigende Ast der Curve nähert h einer senkrechten Linie. Das ztere ist ebenso im Gelb der ll, während am rothen Ende e Änderung wieder äufserst langm wird. Es hängt dies damit sammen, dafs, wie ich schon im rigen Paragraphen bemerkt habe, r Farbenton an den Enden des ectrum sich im Verhältnifs zu n Wellenlängen aufserordentlich ngsam, in der Mitte dagegen sehr hnell ändert. Demgemäfs ist denn auch zwischen den Wellenlängen rschiedener Complementärfarben durchaus kein einfaches oder constantes erhältnifs aufzufinden. Es schwankt, wenn man die musikalische

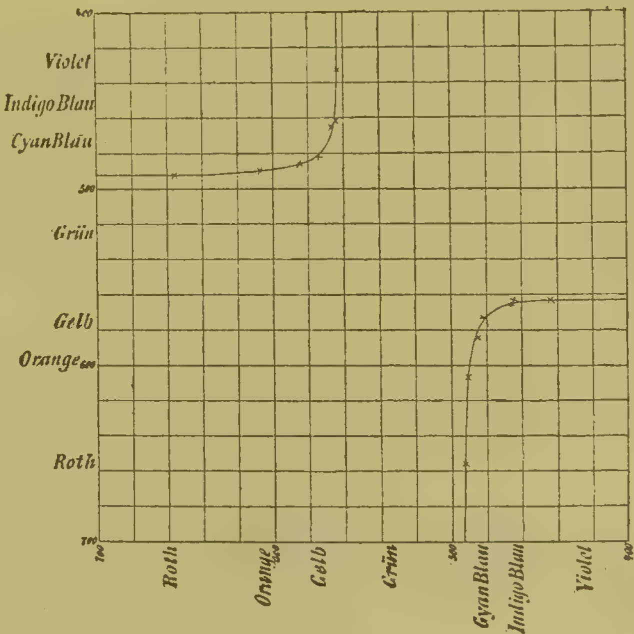


Fig. 132.

Bezeichnungsweise anwendet, zwischen dem der Quarte (1,333) und dem der kleinen Terz (1,20).

Seitdem ich diese Messungen ausgeführt habe, ist noch von vier andern Personen die Reihe ihrer Complementärfarben bestimmt worden, nämlich von den Herrn J. von Kries, M. von Frey[1], A. König und C. Dieterici[2]. Die Resultate weichen nur unbedeutend von den meinigen ab, doch sind die Unterschiede wohl nicht auf Beobachtungsfehler, sondern auf individuelle Eigenthümlichkeiten der Farbensysteme zu schieben.

Es ergab sich

bei Herrn von Kries:

656,2 μμ	complementär	zu	492,4 μμ
626.— „	„	„	492,2 „
612,3 „	„	„	489,6 „
599,5 „	„	„	487,8 „
587,6 „	„	„	484,7 „
579,7 „	„	„	478,7 „
577.— „	„	„	473,9 „
575,5 „	„	„	469,3 „
572,9 „	„	„	464,8 „
571,1 „	„	„	460,4 „
571.— „	„	„	452,1 „
570,4 „	„	„	440,4 „
570,1 „	»	„	429,5 „

bei Herrn von Frey:

656,2 μμ	complementär	zu	485,2 μμ
626.— „	„	„	484,6 „
612,3 „	„	„	483,6 „
599,5 „	„	„	481,8 „
587,6 „	„	„	478,9 „
586,7 „	„	„	478,7 „
577,7 „	„	„	473,9 „
572,8 „	„	„	469,3 „
570,7 „	„	„	464,8 „
569.— „	„	„	460,4 „
568,1 „	„	»	452,1 „
566,3 „	„	„	440,4 „
566,4 „	„	„	429,5 „

---

[1] M. von Frey und J. von Kries. *Archiv für Anat. und Physiol.* Physiol. Ab Jahrgang 1881. S. 336. Die in dieser Abhandlung nach einer willkürlichen Scale an gebenen Complementärfarben sind in Wellenlängen umgerechnet worden von A. Kön (Verhdl. der physikal. Gesellschaft in Berlin. Sitzung vom 13. Juni 1884)

[2] A. König und C. Dieterici. *Wied. Ann.* 33. 1887.

ei Herrn A. König:

675.— μμ	complementär	zu	496,5 μμ
663.— „	„	„	495,7 „
650.— „	„	„	496,7 „
638.— „	„	„	495,9 „
615,3 „	„	„	496.— „
582,6 „	„	„	483,6 „
578.— „	„	„	476,6 „
576.— „	„	„	467.— „
574,5 „	„	„	455.— „
573.— „	„	„	450.— „

i Herrn C. Dieterici:

670.— μμ	complementär	zu	494,3 μμ
660.— „	„	„	494.— „
650.— „	„	„	494,3 „
635.— „	„	„	494.— „
626.— „	„	„	493.1 „
610.— „	„	„	492.2 „
588.— „	„	„	485,9 „
585,7 „	„	„	485,7 „
578.— „	„	„	476,6 „
575.6 „	„	„	470.— „
571,5 „	„	„	455.— „
571,3 „	„	„	448,— „
571.4 „	„	„	442.— „

Ich bemerke übrigens hier noch, dafs die Lichtintensitäten zweier *278*
mplementärer einfacher Farben, welche zusammen gerade Weifs geben, m Auge durchaus nicht immer gleich hell erscheinen. Nur bei der ischung von Cyanblau und Orange sind Mengen beider Farben von ner dem Auge ungefähr gleich erscheinenden Lichtmenge nothwendig. Sonst scheinen Violett, Indigblau und Roth dunkler als die complementären Mengen s dazu-gehörigen Grünlichgelb, Gelb oder Grünlichblau. Da, wie sich im chsten Paragraphen ergeben wird, die Vergleichungen der Helligkeit pro-rtionaler Mengen verschiedenfarbigen Lichtes durch das Auge verschieden sfallen bei verschiedener absoluter Lichtstärke, so lassen sich auch für e Verhältnisse der Helligkeit complementärer Mengen verschiedener Farben-are keine bestimmten Zahlen angeben.

Die Spectralfarben haben demnach in Mischungen verschiedene färbende raft, sie sind gleichsam Farben von verschiedenem Sättigungsgrade. Violet t am meisten gesättigt, die anderen folgen ungefähr in folgender Reihe:

Violet
Indigblau
Roth Cyanblau
Orange Grün
Gelb.

279 Endlich haben wir noch die Resultate der Mischung solcher Farben zu untersuchen, welche nicht complementär sind. Darüber läfst sich folgende Regel aufstellen: Wenn man zwei einfache Farben mischt, die im Spectrum weniger von einander entfernt sind, als Complementärfarben, so ist die Mischung eine der zwischenliegenden Farben und zieht im Allgemeinen desto mehr in das Weifse, je gröfser der Abstand der gemischten Farben ist, wird dagegen desto gesättigter, je kleiner ihr Abstand. Mischt man dagegen zwei Farben, die in der Spectralreihe weiter von einander abstehen, als Complementärfarben, so erhält man Purpur oder solche Farben, die zwischen einer der gemischten und dem entsprechenden Ende des Spectrum liegen. In diesem Falle ist die Mischung desto gesättigter, je gröfser der Abstand der gemischten Farben im Spectrum ist, sie ist desto weifslicher, je kleiner ihr Abstand ist, vorausgesetzt, dafs er immer gröfser bleibt, als der von zwei Complementärfarben.

„ Die Herren A. König und C. Dieterici[1] haben bei ihren weiter unten zu beschreibenden Versuchen gefunden, dafs für die grofse Majorität der menschlichen Augen an beiden Enden des Spectrum zwei Strecken vorkommen, von ihnen Endstrecken genannt, in denen nur Unterschiede der Helligkeit, nicht solche des Farbentons zu finden sind. Die rothe Endstrecke reicht bis etwa zur Wellenlänge 655, nahe der Linie *C*, die violette beginnt bei 430, nahe der Linie *G*. An diese schliefsen sich zwei Strecken, Zwischenstrecken genannt, deren Farben vollständig genau durch Mischung der an den Enden dieser Strecken stehenden Farben wiedergegeben werden können. Die weniger brechbare Zwischenstrecke geht vom Roth bis in das Orange, etwa von Wellenlänge 655 bis 630, die brechbarere von 430 bis 475 (Cyanblau). Zwischen den beiden Zwischenstrecken bleibt eine Mittelstrecke übrig von 630 bis 475, deren Farben nicht mehr aus zwei entfernter stehenden gemischt werden können.

279 So geben Gelb und Cyanblau gemischt ein sehr weifsliches Grün. Ferner giebt Roth, dessen Complementärfarbe Grünlichblau ist, mit Grün gemischt weifsliches Gelb, welches bei wechselnden Mengenverhältnissen der einfachen Farben entweder durch Orange in Roth, oder durch Grünlichgelb in Grün übergehen kann. Orange und Grünlichgelb können gemischt auch reines Gelb geben, welches gesättigter ist, als das aus Roth und Grün erzeugte. Mischen wir dagegen Roth und Cyanblau, so bekommen wir Rosa (weifsliches Purpurroth), welches bei verändertem Mischungsverhältniss in Roth oder durch weifsliches Indigblau in Cyanblau übergehen kann. Dagegen giebt Roth mit Indigblau, und noch mehr mit Violet ein gesättigtes Purpurroth.

Die folgende Tabelle zeigt diese Resultate übersichtlich. An der Spitze der verticalen und horizontalen Columnen stehen die einfachen Farben; w

[1] A. König und C. Dieterici. Sitzungsberichte der Berliner Akad. Sitzung vom 29. Juli 1886. S. 805.

sich die betreffende verticale und horizontale Columne schneiden, ist die Mischfarbe angegeben, welche übrigens immer bei verändertem Mischungsverhältnisse durch die in der Spectralreihe dazwischenliegenden Farben in jede der beiden einfachen Farben der Mischung übergehen kann.

	Violet	Indigblau	Cyanblau	Blaugrün	Grün	Grüngelb	Gelb
Roth	Purpur	dk. Rosa	wfs. Rosa	Weifs	wfs. Gelb	Goldgelb	Orange
Orange	dk. Rosa	wfs. Rosa	Weifs	wfs. Gelb	Gelb	Gelb	
Gelb	wfs. Rosa	Weiss	wfs. Grün	wfs. Grün	Grüngelb		
Grüngelb	Weiss	wfs. Grün	wfs. Grün	Grün			
Grün	wfs. Blau	Wasserblau	Blaugrün				
Blaugrün	Wasserblau	Wasserblau					
Cyanblau	Indigblau						

dk. = dunkel.
wfs. = weifslich.

Übrigens zeigt es sich auch bei diesen Mischungen wieder, dafs die Spectralfarben einen verschiedenen Sättigungsgrad der Farbe haben. So giebt Roth mit gleich hellem Grün gemischt ein röthliches Orange, Violet mit gleich hellem Grün ein dem Violet nahestehendes Indigblau. Dagegen geben Farben von gleicher Sättigung in gleicher Helligkeit gemischt auch Mischfarben, die von ihren beiden Constituenten ungefähr um gleichviel verschieden sind.

Durch Mischung von mehr als zwei homogenen Lichtern bekommen wir 280
also keine neuen Farbeneindrücke mehr, sondern die Zahl derselben ist durch die Mischungen je zweier einfacher Farben schon erschöpft; ja wir haben bei den letzteren Mischungen gefunden, dafs die meisten Mischfarben durch verschiedene Paare von einfachen Farben erzeugt werden konnten. Die Mischungen von zusammengesetzten Farben haben im allgemeinen dasselbe Ergebnifs, wie die Mischung der ihnen ähnlichen Spectralfarben; nur fällt die Mischung um so weifslicher aus, als die in die Mischung eintretenden Farben selbst schon weifslicher sind als Spectralfarben.

Somit führen alle möglichen Combinationen von Ätherwellensystemen verschiedener Schwingungsdauer nur zu einer verhältnifsmäfsig geringen Anzahl verschiedenartiger Erregungszustände des Sehnervenapparats, die sich in verschiedenen Farbenempfindungen zu erkennen geben. Und zwar unter- "
scheiden wir in der Empfindung und demgemäfs auch in der Sprache nicht mehr als dreierlei Arten von Unterschieden in dem Aussehen verschieden beleuchteter Theile des Sehfeldes, welche wir bezeichnen können als

1. Unterschiede der Helligkeit,
2. Unterschiede des Farbentons,
3. Unterschiede der Farbensättigung.

Die gesättigtesten objectiven Farben, die wir kennen, sind uns in der Reihe der Spectralfarben gegeben. Die Enden dieser Reihe können wir zusammenschliefsen durch das aus Mischung von Roth und Violet entstehende

Purpurroth. Die Unterschiede, welche zwischen den Empfindungen dieser Farben bestehen, bezeichnen wir als solche des Farbentons. Denken wir uns eines dieser gesättigten farbigen Lichter mit mehr oder weniger Weifs gemischt, so bekommen wir Farbeneindrücke, die sich dem des Weifs mehr oder weniger nähern, und als die weniger gesättigten oder weifslicheren
280 Abstufungen derselben Farbe zu bezeichnen sind. In der Sprache bezeichnen wir nur selten die weifslicheren Farben durch besondere Namen, wie z. B. weifsliches Purpur als rosenroth, weifsliches Roth als fleischfarben, sondern setzen, um sie bezeichnen zu können, vor den Namen der Farbe die Zusätze „hell“, „blafs“ oder „weifs“, wie z. B. „hellblau“, „blafsblau“, „weifsblau“ eine Reihe von Übergängen aus dem gesättigten Blau in Weifs bezeichnen. Betreffs der Bezeichnung weifslicher Farben durch die Vorsetzsilbe „hell“ ist noch zu bemerken, dafs diese ihrem Sinne nach eigentlich eine lichtstarke Farbe bezeichnen sollte, und hier der Sprachgebrauch eine lichtstarke Farbe nicht von einer weifslichen unterscheidet, was der im vorigen Paragraphen erwähnten Thatsache entspricht, dafs auch dem Auge die lichtstarken gesättigten Farben des Spectrum weifslich, d. h. weniger unterschieden von lichtstarkem Weifs, als die weniger lichtstarken Abstufungen derselben Farbentöne erscheinen.

Unterschiede der Lichtstärke werden von der Sprache nur, insofern dadurch eine Eigenschaft von Körpern angegeben werden soll, als Farben bezeichnet. Mangel des Lichts nennen wir Dunkelheit; einen Körper aber, der kein Licht zurückwirft, wenn solches auf ihn fällt, nennen wir schwarz; einen Körper, welcher alles auffallende Licht diffus reflectirt, nennen wir weifs. Ein Körper, der von allem auffallenden Licht einen gleichen Bruchtheil zurückwirft, ist grau; und einer der Licht gewisser Wellenlängen in stärkerem Verhältnifs als das anderer zurückwirft, ist farbig.

281 In diesem Sinne also sind auch Weifs, Grau und Schwarz Farben. Lichtschwache gesättigte Farben unterscheiden wir durch den Zusatz „dunkel“, wie dunkelgrün, dunkelblau; bei äufserst geringer Lichtstärke wenden wir für sie aber auch dieselben Namen an, wie für lichtschwache weifsliche Farben, nämlich für lichtschwaches Roth, Gelb, Grün die Namen Rothbraun, Braun und Olivengrün; für überwiegend weifsliche Farben von geringer Lichtstärke wählt man dagegen Bezeichnungen wie röthlichgrau, blaugrau u. s. w.

n Bezüglich des Weifs ist wohl zu beachten, dafs wir weifs diejenigen Körper nennen, die Licht aller Art, so weit unser Auge es wahrnehmen kann, möglichst vollständig reflectiren. Eben deshalb erscheinen sie bei jeder Art der Beleuchtung mindestens ebenso hell, meist heller, als alle farbigen Körper. Dadurch ist der Begriff des Weifs als Körpereigenschaft in der Wahrnehmung unzweideutig festgestellt; er ist aber zunächst ganz unabhängig von dem Verhältnifs, in dem die einzelnen Farben im beleuchtenden Lichte gemischt sind, d. h. von dem Farbenton dieser Mischung. In der

That unterscheiden wir bei jeder Art der Beleuchtung weifse Körper sicher als solche, wenn es auch vorkommen kann, dafs wir Körper für weifs halten, die bei Sonnenbeleuchtung besehen uns schwach farbig erscheinen, der vorher gebrauchten künstlichen Beleuchtung ähnlich. So halten wir bei Kerzenbeleuchtung gelegentlich auch gelbliche Papiere oder Zeuge für weifs.

Nun ist die Sonne bei weitem die reichlichste und mächtigste Lichtquelle, die wir kennen, und bei deren Beleuchtung wir am häufigsten und meisten unser Auge brauchen, die auch alle Unterschiede der Färbung am klarsten hervortreten läfst, namentlich nach der Seite der blauen Töne. Wir betrachten daher auch als vorzugsweise weifs die Farbe des vollen Sonnenlichts. Schwache Farbenabweichungen einer andern Lichtquelle von dem Sonnenlicht, oder die kleinen Abweichungen in der Färbung des Tageslichts, die dadurch entstehen, dafs dasselbe bald von der Sonne direct, bald vom blauen Himmel, bald von beleuchteten Wolken, bald von dicken grauen Wolkenschichten herrührt, bemerken wir entweder nur bei gröfserer Aufmerksamkeit, oder auch wohl gar nicht, wenn wir nicht Gelegenheit haben die verschiedenen Beleuchtungsweisen unmittelbar hinter einander zu sehen. Hierbei wirken auch die Ermüdungsvorgänge im Auge mit, die wir in der Lehre von den Nachbildern weiter unten erörtern werden. Bei stark farbiger Beleuchtung ist aber allerdings die Erinnerung an das viel gesehene Sonnenlicht in unsrem Gedächtnifs treu genug, um die bestehende Abweichung der zeitweiligen Beleuchtung zu erkennen.

Wie unsicher und schwankend aber unsre Vorstellung von dem, was wir Weifs nennen, ist, zeigt sich am deutlichsten, sobald wir versuchen Weifs durch Mischung von Spectralfarben herzustellen, wenn dabei jedes andre weifse Licht ausgeschlossen ist. Wenn wir nicht daneben eine Probe von normalem Weifs des Tageslichts vor Augen haben, mit dem wir die gebildete Mischfarbe vergleichen können, so kommen wir nur zu einer groben und schwankenden Annäherung an Weifs.

Es ist meines Erachtens daher ungerechtfertigt, wenn man die grofse Bestimmtheit, welche der Begriff des objectiven Weifs, als Eigenschaft von Körpern, hat, auch auf die Lichtmischung und entsprechende Empfindung Weifs übertragen will. Allerdings können die, welche dies thun, Goethe als Gewährsmann anführen. Als Körperfarbe ist es durch seine Lichtstärke ausgezeichnet, und als solche mag man es in bildlicher Redeweise als das ungetrübteste und reinste Licht bezeichnen. Aber wenn wir von der Beschaffenheit der objektiven Lichtquellen absehen, so ist bis jetzt noch kein einziges Kennzeichen aufgefunden worden, wodurch unter den verschiedenen Abstufungen weifslicher Farbentöne einer als das normale Weifs eine besonders ausgezeichnete Rolle spielte. Da übrigens die thierischen Organe in der Reihe der Generationen sich ihren am häufigsten eintretenden Aufgaben anpassen, so ist es allerdings nicht auffallend, dafs die Farbe des Sonnenlichtes eine centrale, wenn auch nicht gerade bestimmt zu definirende Stellung im Farbensystem einnimmt.

281 Das Schwarz ist eine wirkliche Empfindung d. h. Wahrnehmung eines bestimmten Zustandes unseres Organs, wenn es auch durch Abwesenheit alles Lichts hervorgebracht wird. Wir unterscheiden die Empfindung des Schwarz deutlich von dem Mangel aller Empfindung. Ein Fleck unseres Gesichtsfeldes, von welchem kein Licht in unser Auge fällt, erscheint uns schwarz; aber die Objecte hinter unserem Rücken, von denen auch kein Licht in unser Auge fällt, mögen sie nun dunkel oder hell sein, erscheinen uns nicht schwarz, sondern für sie mangelt alle Empfindung. Bei geschlossenen Augen sind wir uns sehr wohl bewufst, dafs das schwarze Gesichtsfeld eine Grenze hat, wir lassen es keineswegs sich bis hinter unseren Rücken erstrecken. Nur diejenigen Theile des Gesichtsfeldes, deren Licht wir wahrnehmen können, wenn solches vorhanden ist, erscheinen schwarz, wenn sie kein Licht aussenden.

Dafs Grau identisch sei mit lichtschwachem Weifs, Braun mit lichtschwachem Gelb, Rothbraun mit lichtschwachem Roth, erkennt man am leichtesten durch die prismatische Analyse des Lichts von grauen. blauen oder rothbraunen Körpern, schwerer durch Projection des Lichts von der betreffenden Farbe und Stärke auf einen Schirm, weil wir fortdauernd die Neigung haben zu trennen, was in der Farbe oder dem Aussehen eines Körpers von der Beleuchtung und was von der Eigenthümlichkeit der Körperoberfläche selbst herrührt. Der Versuch mufs deshalb so eingerichtet werden, dafs der Beobachter verhindert wird zu erkennen, es sei eine besondere Beleuchtung vorhanden. Ein graues Papierblatt, welches im Sonnenschein liegt, kann heller aussehen, als ein weifses, welches im Schatten liegt, während doch das erstere grau, das zweite weifs erscheint; denn wir wissen, dafs das weifse Blatt, in den Sonnenschein gelegt, viel heller sein würde, als das graue, welches zur Zeit darin sich befindet. Wenn man aber eine graue Kreisfläche auf weifsem Papier anbringt, und durch eine Sammellinse Licht auf sie concentrirt, ohne dafs das weifse Papier gleichzeitig mitbeleuchtet wird, so kann man das Grau weifser erscheinen lassen, als das weifse Papier, so dafs in diesem Falle sich die Empfindungsqualität durchaus nur als abhängig von der Lichtstärke zeigt.

Ebenso gelang es mir homogenes Goldgelb des Spectrum als Braun erscheinen zu lassen, indem ich mittels einer unten auseinander zu setzenden Methode auf einem weifsen unbeleuchteten Schirme ein rechteckiges Feldchen damit beleuchtete, daneben ein gröfseres Feld des Schirms dagegen mit hellerem weifsen Lichte. Roth in derselben Weise angewendet gab Rothbraun, Grün Olivengrün.

Berücksichtigen wir also noch die Lichtintensität, so finden wir, der oben gemachten Angabe entsprechend, dafs die Qualität eines jeden Farbeneindrucks von drei veränderlichen Gröfsen abhängt, nämlich der Lichtstärke,
282 dem Farbentone und seinem Sättigungsgrade. Andere Unterschiede der Qualität des Lichteindrucks existiren nicht. Man kann dieses Resultat in folgender Weise aussprechen:

Der Farbeneindruck, den eine gewisse Quantität x beliebig gemischten Lichtes macht, kann stets auch hervorgebracht werden durch Mischung einer gewissen Quantität a weifsen Lichtes und einer gewissen Quantität b einer gesättigten Farbe (Spectralfarbe oder Purpur) von bestimmtem Farbentone.

Dieser Satz beschränkt die Menge der verschiedenartigen Farbeneindrücke, wenn sie auch noch unendlich grofs bleibt, doch auf ein kleineres Maafs, als wenn jede mögliche Combination verschiedener einfacher Lichtstrahlen einen besonderen Farbeneindruck gäbe. Wollen wir die objective Natur eines gemischten Lichts vollständig bestimmen, so müssen wir angeben, wieviel Licht von jeder Gröfse der Wellenlänge darin ist. Da es nun unendlich verschiedene Wellenlängen giebt, ist die physikalische Qualität eines gemischten Lichts nur darzustellen als eine Function von unendlich vielen Unbekannten. Dagegen kann der Eindruck, den beliebig gemischtes Licht auf das Auge macht, immer dargestellt werden als eine Function von nur drei Variablen, die in Zahlen ausgedrückt werden können, nämlich 1) der Quantität gesättigten farbigen Lichts, 2) der Quantität weifsen Lichts, die gemischt dieselbe Farbenempfindung geben, 3) der Wellenlänge des farbigen Lichts. Dadurch gewinnen wir auch endlich ein Princip, wonach wir die Farben in eine systematische Ordnung bringen können. Abstrahirt man nämlich zunächst von den Unterschieden der Lichtstärke, so bleiben noch zwei Veränderliche übrig, von denen die Qualität der Farbe abhängt, nämlich der Farbenton und das Verhältnifs des farbigen zum weifsen Lichte, und wir können uns die Menge der Farben, wie die verschiedenen Werthe einer jeden Gröfse, welche von zwei Variablen abhängt, in einer Ebene nach ihren zwei Dimensionen hin ausgebreitet denken. Die Reihe der gesättigten Farben ist in sich zurücklaufend, sie mufs also auf einer geschlossenen Curve angebracht werden, für welche Newton einen Kreis, *Fig. 133*, wählte. Er selbst brachte n auf seinem Farbenkreise nur sieben gesättigte Spectralfarben in Sectoren an, deren Farbenton und Breite er nach einer akustischen Analogie wählte. Für den hier verfolgten Zweck dagegen wären die gesättigten Farben in continuirlichem Übergange längs der Peripherie; und in die Mitte des Kreises Weifs zu setzen, und auf die Verbindungslinien des Mittelpunktes mit den einzelnen Punkten der Peripherie die Übergangsstufen zwischen dem Weifs und der an dem betreffenden Punkte der Peripherie stehenden Farbe anzubringen, so dafs die weifslicheren unter ihnen dem Mittelpunkte, die gesättigten der Peripherie näher stehen. So erhielte man eine Farbentafel, die 282 alle möglichen Arten gleich lichtstarker Farben in ihren continuirlichen

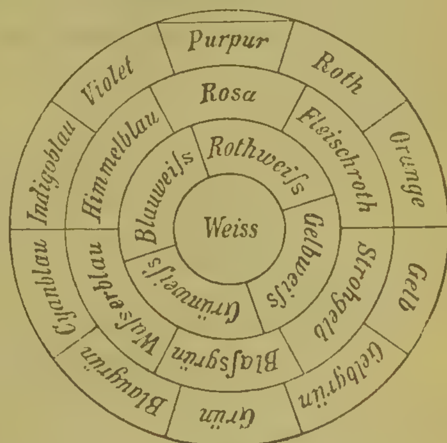


Fig. 133.

Übergängen geordnet darböte. Wollte man auch noch die verschiedenen Grade der Lichtstärke der Körperfarben berücksichtigen, so müfste man, wie LAMBERT es that, noch die dritte Dimension des Raums zu Hülfe nehmen, und zwar kann man die dunkelsten Farben, bei denen die Zahl der unterscheidbarenTöne immer geringer wird, endlich in eine Spitze, dem Schwarz ent-
283 sprechend, zusammenlaufen lassen. So erhält man eine Farbenpyramide oder einen Farbenkegel. In *Fig. 134* sind drei Querschnitte eines solchen Kegels über einander liegend dargestellt. Der gröfste, der Grundfläche entsprechend, würde dieselbe Farbenvertheilung wie der Farbenkreis *Fig. 133* zeigen müssen. Der mittlere, aus der Mitte des Kegels genommen, zeigt am Rande das Rothbraun, Braun, Olivengrün, Graublau und in seiner Mitte Grau, endlich der kleinste, nahe an der Spitze des Kegels genommen, zeigt Schwarz, wie es die Figur anzeigt.

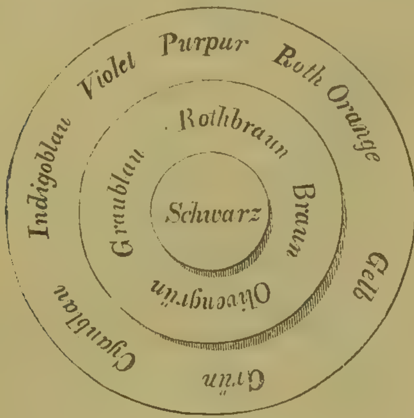


Fig. 134.

Geometrische Darstellung des Farbenmischungsgesetzes.

n

Das Princip einer solchen Darstellung ist zuerst von J. NEWTON hingestellt worden, obgleich er auf der erwähnten in sieben Sectoren getheilten Farbenscheibe nicht gerade die volle Bedeutung desselben darlegen konnte. Er dachte sich nämlich die zu mischenden Farben durch Gewichte dargestellt, die in die Schwerpunkte der zugehörigen Sectoren eingesetzt wurden. Dann construirte er den gemeinsamen Schwerpunkt dieser Gewichte. Dessen Lage zeigt dann den Farbenton der Mischfarbe an, seine Entfernung vom Mittelpunkt den Grad ihrer Sättigung.

Die physiologischen Voraussetzungen, welche der Ausführbarkeit und Richtigkeit eines solchen Verfahrens zu Grunde liegen, hat Herr H. GRASSMANN herausgesondert und hingestellt. Aufser dem schon oben erwähnten Satze, dafs:

283 1) Jede beliebig zusammengesetzte Mischfarbe gleich aussehen müsse, wie die Mischung einer bestimmten gesättigten Farbe mit Weifs, sind dazu noch folgende Sätze nothwendig:

2) Wenn von zwei zu vermischenden Lichtern das eine sich stetig ändert, ändert sich auch das Aussehen der Mischung stetig.

3) Gleich aussehende Farben gemischt geben gleich aussehende Mischungen.

Wenn wir diese drei Grundsätze annehmen, läfst sich eine Anordnung der Farben in einer Ebene herstellen, welche erlaubt die Mischfarbe durch eine Schwerpunktsconstruction zu finden. Wir wollen eine solche Farben-

tafel, in welcher die Mischfarben nach dem Princip der Schwerpunktsconstructionen gefunden werden, eine geometrische Farbentafel nennen. Da die Lichtquanta verschiedenfarbigen Lichtes keine allgemein gültige quantitative Vergleichung durch das Auge zulassen, so darf man sich bei der Construction einer solchen Tafel vorbehalten die Einheit der Lichtquantität jeder Farbe durch die NEWTON'sche Regel der Farbenmischung selbst festzusetzen. Wenn man drei Farben beliebig wählt, von denen aber keine durch Mischung der beiden anderen erzeugt werden kann, ihnen drei beliebige Orte in der Farbentafel anweist, die nicht in einer geraden Linie liegen, und die Einheiten ihrer Lichtquanta beliebig festsetzt, so ist nachher der Ort und die Einheit des Lichtquantum jeder anderen Farbe in der Farbentafel fest bestimmt.

Construction der Farbentafel. Wenn die drei Farben A, B, C, von denen man ausgehen will, gewählt, die Einheiten ihrer Lichtmengen und ihre Orte in der Farbentafel bestimmt sind, die wir mit a, b und c in *Fig. 135* bezeichnen wollen, so mische man die Quantitäten α der Farbe A und β der
Farbe B, und setze die Mischfarbe in den gemeinschaftlichen Schwerpunkt der 284
Gewichte α und β, von denen α im Punkt a und β im Punkt b befindlich gedacht wird. Der Schwerpunkt d liegt in der Verbindungslinie ab der beiden Gewichte und zwar so dafs

$$\alpha \cdot ad = \beta \cdot bd.$$

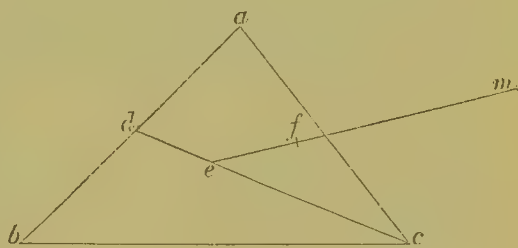


Fig. 135.

So liegen denn überhaupt alle Mischfarben von A und B auf der Linie ab. Soll nun mit den Quantitäten α und β der Farben A und B auch noch die Quantität γ der Farbe C gemischt werden, so können wir erst α und β wie vorher gemischt denken, die Mischfarbe, deren Quantität mit $(\alpha + \beta)$ bezeichnet werden mufs, in d eingesetzt, und nun den Schwerpunkt e der beiden Gewichte $(\alpha + \beta)$ in d und γ in c construiren, welcher in der Linie cd liegen mufs. Hier ist der Ort der gemeinsamen Mischfarbe, deren Quantität ε gesetzt werden mufs

$$\varepsilon = \alpha + \beta + \gamma.$$

Dadurch ist auch die Einheit des Lichtquantum für diese Farbe bestimmt; diese ist

$$1 = \frac{\varepsilon}{\alpha + \beta + \gamma}.$$

Es ist dabei ersichtlich, dafs jede aus den drei Farben A, B, C mischbare Farbe innerhalb des Dreiecks abc liegen mufs; für jede ist in der angegebenen Weise Ort und Einheit der Lichtmenge zu bestimmen.

Denkt man sich die Orte und Maafseinheiten aller aus den drei Farben A, B und C mischbaren Farben bestimmt, so kann man nun auch die Orte und Maafseinheiten der aus A, B und C nicht mischbaren Farben bestimmen. Es sei M eine solche Farbe. Man kann jedenfalls eine so kleine Quantität μ dieser Farbe wählen, dafs, wenn man sie mit einer der Farben des Dreiecks mischt, die Mischfarbe auch noch innerhalb des Dreiecks liegt. Man mische sie z. B. mit der Quantität ε (diese nach der schon festgesetzten Einheit gemessen) der in e befind-

lichen Farbe. Denkt man sich die Quantität der Farbe M anfangs unendlich klein, und stetig steigend bis μ, so wird die Mischfarbe anfangs die in e befindliche Farbe selbst sein, sich nach GRASSMANN's zweitem Grundsatze stetig ändern, d. h. continuirlich in die benachbarten Farben übergehen. Ist die Quantität von M bis μ gewachsen, so möge f der Ort und φ die Quantität der betreffenden Mischfarbe sein, und f noch innerhalb des Dreiecks liegen. Gemäfs unserer Regel mufs erstens sein

$$\varphi = \varepsilon + \mu.$$

Dadurch ist die Quantität μ auf die von uns festgesetzten Maafseinheiten zurückgeführt. Zweitens mufs f der Schwerpunkt von μ in m und ε in e sein, d. h. es mufs m in der Verlängerung der Linie ef liegen, und

$$\frac{mf}{ef} = \frac{\varepsilon}{\mu}.$$

Dadurch ist also auch die Lage und die Maafseinheit der Farbe M festgesetzt und kann ebenso für alle anderen aus A, B und C nicht mischbaren Farben bestimmt werden.

Beweis der Richtigkeit dieser Construction. Es mufs nun gezeigt werden, dafs unter Voraussetzung der Richtigkeit von GRASSMANN's Sätzen in einer so construirten Farbentafel, für welche auch die Maafseinheiten der Lichtquantität der verschiedenen Farben in der angegebenen Weise festgesetzt sind,
285 die Mischfarbe zweier beliebigen Farben sich im Schwerpunkte der gemischten Farben vorfindet, und ihr Lichtquantum, nach den festgesetzten Einheiten gemessen, gleich ist der Summe der Quantitäten der gemischten Lichter.

Wenn wir uns die Lage der Massenpunkte m_1, m_2, m_3 u. s. w. durch rechtwinkelige Coordinaten x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3 u. s. w. gegeben denken, so sind die Coordinaten X und Y des Schwerpunkts gegeben durch die Gleichungen

$$X\,(m_1 + m_2 + m_3 + \text{etc.}) = m_1\,x_1 + m_2\,x_2 + m_3\,x_3 + \text{etc.}$$
$$Y\,(m_1 + m_2 + m_3 + \text{etc.}) = m_1\,y_1 + m_2\,y_2 + m_3\,y_3 + \text{etc.}$$

Im Folgenden bezeichnen wir die Coordinaten des mit irgend einem beliebigen Buchstaben n bezeichneten Punktes mit x_n und y_n.

A. Es sollen gemischt werden zwei Farben E_0 und E_1, welche selbst aus den drei ursprünglich gewählten Farben A, B und C gemischt werden können. Es seien die Quantitäten ε_0 und ε_1 der Farben E_0 E_1 mischbar aus den Quantitäten α_0, β_0, γ_0 und beziehlich α_1, β_1, γ_1 der Farben A, B, C, so ist nach der Constructionsregel, wenn wir mit x_0, y_0 die Coordinaten des Ortes von ε_0 mit x_1, y_1 die von ε_1 in der Farbentafel bezeichnen

$$x_0\,(\alpha_0 + \beta_0 + \gamma_0) = \alpha_0\,x_a + \beta_0\,x_b + \gamma_0\,x_c$$
$$x_1\,(\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1) = \alpha_1\,x_a + \beta_1\,x_b + \gamma_1\,x_c$$
$$y_0\,(\alpha_0 + \beta_0 + \gamma_0) = \alpha_0\,y_a + \beta_0\,y_b + \gamma_0\,y_c$$
$$y_1\,(\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1) = \alpha_1\,y_a + \beta_1\,y_b + \gamma_1\,y_c$$
$$\varepsilon_0 = \alpha_0 + \beta_0 + \gamma_0$$
$$\varepsilon_1 = \alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1.$$

Nun ist nach dem Grundsatze, dafs gleichaussehende Farben gemischt gleich aussehende Mischfarben geben, die Mischfarbe von ε_0 und ε_1 dieselbe wie von

α_0 β_0 γ_0 und α_1 β_1 und γ_1; die Coordinaten X und Y des Ortes der letzteren Mischung sind bei der Constructiou der Farbentafel durch die Gleichungen

$$X(\alpha_0+\beta_0+\gamma_0+\alpha_1+\beta_1+\gamma_1)=(\alpha_0+\alpha_1)x_a+(\beta_0+\beta_1)x_b+(\gamma_0+\gamma_0)x_c$$
$$Y(\alpha_0+\beta_0+\gamma_0+\alpha_1+\beta_1+\gamma_1)=(\alpha_0+\alpha_1)y_a+(\beta_0+\beta_1)y_b+(\gamma_0+\gamma_0)y_c$$

gegeben oder indem man mittels der obigen sechs Gleichungen x_a, x_b, x_c und y_a, y_b und y_c eliminirt

$$X(\varepsilon_0+\varepsilon_1)=\varepsilon_0 x_0+\varepsilon_1 x_1$$
$$Y(\varepsilon_0+\varepsilon_1)=\varepsilon_0 y_0+\varepsilon_1 y_1$$

d. h. die Coordinaten X, Y der Mischfarbe von ε_0 und ε_1 sind dieselben, wie die des Schwerpunkts von ε_0 und ε_1.

Die gesammte Lichtquantität q der Mischung von ε_0 und ε_1 mufs wiederum gleich sein der Lichtquantität, welche bei Mischung der gleichaussehenden Quantitäten $(\alpha_0+\beta_0+\gamma_0)$ einerseits und $(\alpha_1+\beta_1+\gamma_1)$ andererseits entsteht, d. h.

$$q=\alpha_0+\beta_0+\gamma_0+\alpha_1+\beta_1+\gamma_1=\varepsilon_0+\varepsilon_1,$$

womit die Richtigkeit der gegebenen Constructionsregel für alle aus A, B und C mischbaren Farben auf der in gesagter Weise construirten Farbentafel erwiesen ist.

B. Wenn zwei nicht aus A, B und C mischbare Farben M_0 und M_1 gemischt werden sollen. Es seien x_0, y_0 die Coordinaten, μ_0 die Quantität der Farbe M_0, x_1 und y_1 seien die Coordinaten, μ_1 die Quantität der Farbe M_1. Es sei der Ort von M_0 in der Farbentafel dadurch gefunden worden, dafs 286
die Quantität μ_0 mit der Quantität ε_0 der im Punkte e befindlichen Farbe E gemischt, die Quantität φ der in f befindlichen Farbe F gegeben hat, so ist

$$\varepsilon_0+\mu_0=\varphi$$
$$\varphi x_f=\varepsilon_0 x_e+\mu_0 x_0$$
$$\varphi y_f=\varepsilon_0 y_e+\mu_0 y_0.$$

Ebenso sei der Ort der Farbe M_1 dadurch gefunden worden, dafs μ_1 gemischt mit der Quantität ε_1 der Farbe E die Quantität ψ der im Punkte g befindlichen Farbe G gegeben hat. Es ist

$$\varepsilon_1+\mu_1=\psi$$
$$\psi x_g=\varepsilon_1 x_e+\mu_1 x_1$$
$$\psi y_g=\varepsilon_1 y_e+\mu_1 y_1.$$

Um den Ort der Mischfarbe von μ_0 und μ_1 in derselben Weise zu bestimmen, mische man diese mit der Quantität $\varepsilon_0+\varepsilon_1$ der Farbe E. Dies kommt aber nach GRASSMANN's drittem Satze darauf hinaus, dafs man die Quantitäten φ und ψ der Farben F und G mischt. Die Coordinaten dieser Mischfarbe seien ξ und v, gegeben durch die Gleichungen

$$(\varphi+\psi)\xi=\varphi x_f+\psi x_g$$
$$(\varphi+\psi)v=\varphi y_f+\psi y_g.$$

Dann sind die Coordinaten X und Y der Mischfarbe von μ_0 und μ_1, deren noch unbestimmte Quantität mit η bezeichnet werde, gegeben durch die Gleichungen

$$(\varphi+\psi)\xi=(\varepsilon_0+\varepsilon_1)x_e+\eta X$$
$$(\varphi+\psi)v=(\varepsilon_0+\varepsilon_1)y_e+\eta Y$$
$$\varphi+\psi=\varepsilon_0+\varepsilon_1+\eta.$$

Indem man mit Hülfe der früheren Gleichungen hieraus φ, ψ, x_e und y_e eliminirt, erhält man:

$$\mu_0 x_0 + \mu_1 x_1 = \eta X$$
$$\mu_0 y_0 + \mu_1 y_1 = \eta Y$$
$$\mu_0 + \mu_1 = \eta,$$

wonach die Mischfarbe von μ_0 und μ_1 wirklich, wie verlangt wurde, im Schwerpunkte beider Massen liegt, und ihre Quantität der Summe beider Quantitäten gleich ist.

C. Wenn eine aus A, B, C mischbare und eine nicht mischbare Farbe gemischt werden sollen, ist ähnlich zu verfahren, wie im Falle B. Es sei μ_0 die Menge der aus A, B, C nicht mischbaren Farbe und ihre Coordinaten x_0, y_0 seien dadurch gefunden, dafs sie mit der Quantität ε_0 der im Punkte E stehenden Farbe gemischt, die Quantität φ der in F stehenden Farbe gegeben habe. Demnach ist

$$\mu_0 x_0 + \varepsilon_0 x_e = \varphi x_f$$
$$\mu_0 y_0 + \varepsilon_0 y_e = \varphi y_f$$
$$\mu_0 + \varepsilon_0 = \varphi.$$

Der Ort der Mischfarbe η aus μ_0 und einer aus A, B, C mischbaren Farbe μ_1 im Punkte G befindlich, ergiebt sich, indem man η mit ε_0 mischt, und dann nach
287 der gegebenen Constructionsregel weiter verfährt. Da aber η aus μ_0 und μ_1 zusammengesetzt ist, kann man auch zuerst μ_0 und ε_0 mischen, wobei man nach der Voraussetzung die Quantität φ der in F stehendén Farbe erhält, und dann φ mit μ_1. Der gemeinsame Schwerpunkt beider ist der Ort der Mischfarbe von η und ε_0, seine Coordinaten ξ und v sind durch folgende Gleichungen gegeben:

$$(\varphi + \mu_1)\xi = \varphi x_f + \mu_1 x_g$$
$$(\varphi + \mu_1)v = \varphi y_f + \mu_1 y_g.$$

Die Coordinaten X und Y von η sind nun nach der aufgestellten Constructionsregel zu finden durch die Gleichungen:

$$(\varphi + \mu_1)\xi = \eta X + \varepsilon_0 x_e$$
$$(\varphi + \mu_1)v = \eta Y + \varepsilon_0 y_e$$
$$\varphi + \mu_1 = \eta + \varepsilon_0,$$

woraus schliefslich folgt:

$$\eta X = \mu_0 x_0 + \mu_1 x_g$$
$$\eta Y = \mu_0 y_0 + \mu_1 y_g$$
$$\eta = \mu_0 + \mu_1,$$

was zu erweisen war.

Bisher haben wir zur Bestimmung des Ortes der aus A, B, C nicht mischbaren Farben immer nur ihre Mischung mit einer einzigen Farbe E angewendet. Der letzte Satz zeigt aber, dafs auch die Anwendung jeder anderen Farbe G dieselben Bestimmungen der Farbenorte geben würde.

Veränderlichkeit der Form der Farbentafel.

Es läfst sich nicht von vorn herein übersehen, welche Gestalt die Curve

ıben werde, in welche bei einer solchen Construction die einfachen Farben ı stehen kommen. Diese Curve wird, abgesehen von individuellen Ver-hiedenheiten der Beobachter, je nach der Wahl der drei Farben, mit denen an die Construction beginnt, und ihrer drei Maafseinheiten, die man will-ührlich festsetzt, sehr mannigfach sein können. Eine Maafseinheit mufs nmer willkührlich bleiben, ebenso die Lage zweier Punkte, in die man vei der gewählten Farben setzt. Erst von den anderen 4 Stücken hängt ann die Form jener Curve ab. Man kann also noch vier Bedingungen fest-etzen, welche sich im allgemeinen durch eine entsprechende Wahl der er anderen willkührlich gebliebenen Gröfsen werden erfüllen lassen. So ürde man z. B. verlangen können, dafs in der Farbentafel die Entfernung ınf beliebig gewählter einfacher Farben vom Weifs gleich grofs sein solle. s würde alsdann die Grenzcurve der Farbentafel, welche die einfachen arben enthält, sich kaum merklich von NEWTON's Kreise unterscheiden, wie r in *Fig. 133* dargestellt ist, nur würde zwischen dem äufsersten Roth nd Violet die Sehne, welche dort gezeichnet ist, statt des Bogens die läche begrenzen müssen, weil das Purpur, welches nur aus den beiden ge-annten Farben gemischt werden kann, auf der geraden Verbindungslinie eider Farben liegen müfste. Aufserdem folgt aus den Principien der Con-ruction, dafs jede zwei Complementärfarben an entgegengesetzten Enden ines Durchmessers des Kreises liegen müssen, weil die Mischfarbe Weifs nmer in der Verbindungslinie derjenigen Farben liegen mufs, aus denen sie emischt ist. Diese Bedingung ist auch in *Fig. 133* erfüllt.

Was die festzusetzenden Maafseinheiten der Lichtquanta verschieden- *288*
ırbigen Lichts betrifft, so würden für diesen Fall, wo man das Farbenfeld urch eine Kreislinie begrenzen läfst, complementäre Mengen der Comple-ıentärfarben, d. h. solche Mengen, welche gemischt weifs geben, als gleich rofs angesehen werden müssen, weil nach der Voraussetzung ihre Misch-ırbe Weifs gleich weit von ihnen entfernt liegt. Der Schwerpunkt zweier ewichte kann aber nur dann im Mittelpunkte ihrer Verbindungslinie liegen, enn die Gewichte gleich sind. Ferner würden von anderen nicht comple-ıentären Farben solche Mengen als gleich grofs angesehen werden, welche ıit einer genügenden Quantität ihrer Complementärfarbe vereinigt gleiche uantitäten Weifs geben. Aus dem, was ich früher über die verschiedene ättigung der Spectralfarben angeführt habe, geht schon hervor, dafs die uantitäten, welche hier als gleich betrachtet werden, dem Auge durchaus icht gleich hell erscheinen. Im nächsten Paragraphen indessen wird sich eigen, dafs Vergleichung der Helligkeit verschiedener Farben durch das uge bei verschiedener absoluter Lichtstärke nicht ganz übereinstimmende esultate ergiebt, während im Gegentheil, soweit GRASSMANN's Gesetze gelten, ine Festsetzung der Maafseinheiten verschiedener Farben durch die Er-ebnisse der Farbenmischung von der absoluten Helligkeit unabhängig ein mufs.

Will man dagegen in der Farbentafel als gleich grofs solche Quantitäten verschiedenfarbigen Lichts betrachten, welche dem Auge wenigstens innerhalb gewisser Grenzen der Lichtintensität als gleich hell erscheinen, so erhält die Curve der einfachen Farben nach meinen älteren Beobachtungen[1] eine ganz andere Gestalt ähnlich wie in *Fig. 136*. Die gesättigten Farben Violet und Roth müssen weiter vom Weifs entfernt sein, als ihre weniger gesättigten Complementärfarben, weil nach dem Urtheile des Auges bei der Mischung von Gelbgrün und Violet zu Weifs die Quantität violetten Lichtes viel kleiner ist, als die des gelbgrünen, und wenn das Weifs im Schwerpunkte beider liegen soll, die kleinere Quantität Violet an einem gröfseren Hebelarme wirken mufs, als die gröfsere Lichtmenge des Gelbgrün. Übrigens würden auch hier wieder die Spectralfarben an der Peripherie der Curve, das Purpur auf einer Sehne stehen müssen, Complementärfarben an den entgegengesetzten Enden von Sehnen, welche durch den Ort des Weifs gelegt sind, wie bei der kreisförmigen *Fig. 133*.

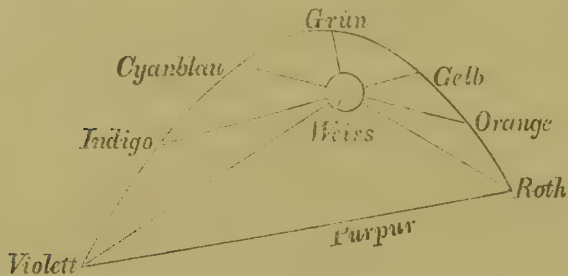


Fig. 136.

Die Zurückführung des Farbenmischungsgesetzes auf Schwerpunktsconstructionen wurde zuerst von Newton nur als eine Art mathematischen Bildes vorgeschlagen, um die grofse Menge der Thatsachen dadurch auszudrücken, und er stützte sich nur darauf, dafs die Folgerungen aus jener Darstellung qualitativ mit den Erfahrungsthatsachen übereinstimmten, ohne dafs er quantitative Prüfungen ausgeführt hätte. Dergleichen quantitative Prüfungen sind in neuerer Zeit zunächst von Maxwell vorgenommen worden. Er verfertigte sich eine Reihe Kreissectoren von gröfserem, eine andere von kleinerem Radius, welche mit Pigmenten (Zinnober, hellem Chromgelb,
289 Pariser Grün, Ultramarin, Weifs und Schwarz) überzogen waren, und befestigte dieselben so auf einer rotirenden Scheibe, dafs beliebige gröfsere und kleinere Stücke der einzelnen Sectoren sichtbar wurden, und zwar wurde in der Mitte der Scheibe eine andere Zusammenstellung gemacht als am Rande. Die Breite der Sectoren wurde so lange abgeändert, bis beide Farbenmischungen bei schneller Rotation der Scheibe ganz gleich erschienen, dann der Winkel bestimmt, in dem die einzelnen Sectoren sichtbar waren. So lassen sich unzählig viele Farbenzusammenstellungen machen, und das Mischungsgesetz läfst sich an ihnen prüfen. Der Sinn dieser Prüfung läfst sich unserer bisher gewählten Darstellungsweise gemäfs folgendermafsen deutlich machen. Man construire eine Farbentafel, in welcher drei von den Farben der Scheibe, z. B. Roth, Grün und Blau, als Grundfarben b

[1] In wie weit die Helligkeit und die Unterschiedsempfindlichkeit der Farben in der Farbentafel ausgedrückt werden kann siehe § 21.

·chtet, ihre Helligkeiten gleich der willkürlichen Maafseinheit gesetzt ırden. Dann sind bei jedem Mischungsversuche aus diesen drei Farben · angewendeten Helligkeiten derselben gleich dem Bogen ihres Sectors ·idirt durch die Kreisperipherie zu setzen. Zuerst wird es möglich sein, ıs den drei Farben ein Grau zusammenzusetzen, und gleich zu machen ·em aus Schwarz und Weifs zusammengesetzten Grau. Dadurch bestimmt ·h die Stelle und Maafseinheit des Weifs in der Farbentafel. Dann wird · möglich sein, aus Roth und Grün einerseits, Gelb, Weifs und Schwarz ·lrerseits zwei gleiche graugelbe Mischungen zu erzeugen, und dadurch ·h der oben gegebenen Constructionsregel den Ort und die Maafseinheit ·s Gelb in der Farbentafel zu bestimmen. Sobald dies geschehen ist, ·st sich durch Construction in der Farbentafel oder Rechnung für jede ·lere Mischung aus drei von den fünf Farben Roth, Gelb, Grün, Blau, ·eifs vollständig berechnen, wie dieselbe aus anderen drei zusammengesetzt ırden kann, und dies am Versuche prüfen, so dafs jede solche Prüfung eine ·üfung der Principien ist, auf welche die Schwerpunktsconstructionen bei ·r Farbenmischung gegründet sind. MAXWELL hat die Versuche in guter ·ereinstimmung mit dem Gesetze gefunden. Viel empfindlichere und n ·närfere messende Prüfungen lassen sich mit Hülfe von Spectralfarben aus- ·ıren; die Methoden für die praktische Durchführung dieser Messungen ·rden unten beschrieben werden.

Grundfarben. Wir haben gesehen, dafs alle Verschiedenartigkeit des 289 ·hteindrucks als die Function dreier unabhängig veränderlicher Gröfsen ·trachtet werden kann, und hatten bisher als solche Veränderlichen 1. die ·htstärke, 2. den Farbenton und 3. die Sättigung bezeichnet oder auch · die Quantität Weifs, 2. die Quantität, 3. die Wellenlänge einer Spectral- ·be. Statt dieser drei Variablen kann man aber auch andere drei ein- ·ıren, wie dies schon in den gegebenen Constructionsregeln geschah, indem ·n alle Farben als Mischungen von veränderlichen Quantitäten dreier ·rben, der sogenannten drei Grundfarben, betrachtet, zu welchen man ·her meistens Roth, Gelb und Blau wählte. Wenn man diese Lehre ·jectiv auffassen wollte, d. h. behaupten, es gäbe im Spectrum drei objective ·fache Farben, durch deren Zusammensetzung man einen gleichen Eindruck ·f das Auge hervorbringen könnte, wie durch jedes beliebige andere einfache ·er zusammengesetzte Licht, so wäre dies unrichtig. Es giebt keine solche ·ei einfachen Farben, durch deren Zusammensetzung man auch nur erträg- ·h die zwischenliegenden Farben des Spectrum nachbilden könnte. Die ·zteren erscheinen immer viel gesättigter, als die zusammengesetzten Farben. 290 ·n wenigsten passen dazu Roth, Gelb und Blau, denn wenn man als Blau ·ne dem Farbentone des Himmels ähnliche Farbe wählt, und nicht ein dem ·ünlichen sich näherndes Blau, so kann man durch Mischung dieser Farben ·r kein Grün erhalten; nimmt man ein grünliches Gelb und ein grünliches ·au, so erhält man nur ein sehr weifsliches Grün. Diese drei Farben ·nnten nur so lange gewählt werden, als man, auf die Mischung der Pig-

mentfarben vertrauend, fälschlich meinte, gelbes und blaues Licht gebe Grün. Erheblich besser geht es, wenn man als Grundfarben Violet, Grün und Roth wählt. Aus Violet und Grün kann man Blau mischen, aber freilich nicht das gesättigte Blau des Spectrum, und aus Grün und Roth kann man ein mattes Gelb zusammensetzen, was sich aber ebenfalls auf den ersten Blick von dem glänzenden Gelb des Spectrum unterscheidet.

Denken wir uns die Farben nach der oben geschilderten Methode in eine Farbentafel eingetragen, so ist aus der dort gegebenen Constructionsregel klar, dafs alle Farben, welche aus drei gegebenen zu mischen sind, in dem Dreieck liegen müssen, dessen Ecken mit dem Orte der drei Grundfarben in der Farbentafel zusammenfallen. So würde in dem nebenstehenden Farbenkreise *Fig. 137*, in welchem die Farben durch ihre Anfangsbuchstaben bezeichnet sind (I = Indigoblau, C = Cyanblau), das Dreieck *RCG* alle Farben umfassen, welche aus Roth, Cyanblau und Gelb zusammenzusetzen sind. Dabei fallen wie man sieht zwei grofse Stücke des Kreises weg, es würde nur sehr weifsliches Violett und sehr weifsliches Grün herzustellen sein. Wählten wir aber statt Cyanblau die Farbe des blauen Himmels, das Indigblau, so würde das Grün ganz weg fallen. Das Dreieck *VRGr* enthält die aus Violet, Roth, Grün mischbaren Farben, und würde schon eine gröfsere Zahl der vorhandenen Farben vertreten. Aber wie man in der Figur sieht, fehlen noch immer beträchtliche Fragmente des Kreises, übereinstimmend mit den angeführten Erfahrungen über Mischung von Spectralfarben, aus denen eben folgt, dafs die Grenzkurve der Farbentafel eine von den Seiten des Dreiecks merklich abweichende krumme Linie sein müsse.

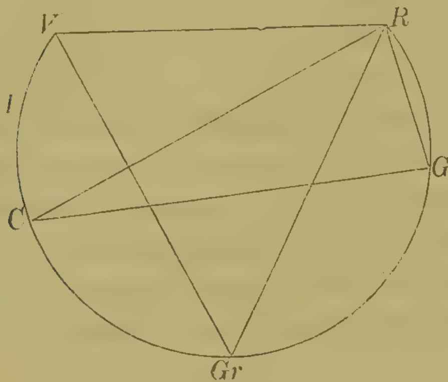


Fig. 137.

Die objective Natur dreier Grundfarben hat Brewster zu vertheidigen gesucht, indem er behauptete, für jeden Grad der Brechbarkeit der Lichtstrahlen existirten drei verschiedene Arten Licht, rothes, gelbes und blaues, welche nur in verschiedenen Verhältnissen gemischt seien, so dafs dadurch die verschiedenen Farben des Spectrum entständen. Die Spectralfarben seien also noch zusammengesetzt aus dreierlei qualitativ verschiedenen Lichtarten, deren Strahlen aber für jede einzelne einfache Farbe denselben Grad von Brechbarkeit hätten. Durch absorbirende farbige Medien sollte sich nach Brewster Licht aller drei Grundfarben in den verschiedenen einfachen Farben nachweisen lassen. Dafs diese letztere Behauptung, auf welcher seine ganze Beweisführung ruht, nicht richtig sei, ist schon im vorigen Paragraphen S. 308 besprochen.

n Newton's Schwerpunktsconstruction, welche wir bisher angewendet haben, wie die besprochene Zerlegung in Grundfarben deutlich erkennen läfst, nur

ranschaulichendes Bild für eine viel allgemeiner vorkommende Form des Zusammenwirkens qualitativ unterschiedener Gröſsen, welcher, wie ebenfalls H. GRASSMANN[1] in sehr allgemeiner Weise gezeigt hat, die wesentlichen Kennzeichen der Addition zukommen. Das erste wichtige Beispiel einer additiven Verknüpfung on nicht homogenen Gröſsen war durch GAUSS gegeben worden, indem er den mplexen Gröſsen der Algebra geometrischen Sinn unterlegte. In andrer Form weitert, kehrt dasselbe wieder in der von B. HAMILTON entwickelten Lehre von n Quaternions.

Als Addition kann im allgemeinen jede Art der Verknüpfung physikalischer ler geometrischer Gröſsen bezeichnet werden, deren Ergebniſs eindeutig und unhängig ist von irgend welcher Reihenfolge, in der die zu verknüpfenden Gröſsen h darbieten, unabhängig auch von der Reihenfolge, in welcher die einzelnen rgeschriebenen Verknüpfungsacte nach einander ausgeführt werden. Endlich ist i einer additiven Verknüpfung von Gröſsen zu fordern, daſs die Summe ihren ieilen gleichartig sei, d. h. daſs über die Gleichheit oder Ungleichheit der Summe it ihren Theilen oder anderen ähnlichen Summen durch dasselbe Verfahren enthieden werden kann, wie über die Gleichheit oder Ungleichheit der Theile unteriander.[2]

In diesem Sinne ist die Mischung zweier Farben als eine additive Verknüpfung arakterisirt. Über ihre physiologische Gleichheit entscheidet nur das Auge; eichaussehende Lichtmischungen sind physiologisch als gleiche Farben zu behten; in welcher Weise jede derselben aus anders aussehenden Farben vorher sammengesetzt worden sei, darauf kommt es nicht mehr an. Für das Endgebniſs ist es gleichgültig, ob ich Roth zu Blau oder Blau zu Roth setze, wie i der Addition $a + b = b + a$. Es kommt nicht darauf an, ob ich Roth und rün erst zu Gelb verbinde, und dann dieses oder ein gleich aussehendes Gelb it Violet zu Weiſs verbinde; oder ob ich andrerseits ebensoviel Grün und Violet erst Blau zusammenfüge, und dann dieses, beziehlich ein gleich aussehendes Blau, mit viel Roth wie im ersten Falle zu Weiſs. Das Resultat ist dasselbe wie bei der ldition

$$(a + b) + c = a + (b + c)$$

ndlich sind die Ergebnisse der Verbindung Mischfarben, über deren Gleichheit it andern Mischfarben oder den ursprünglichen Farben ebenso wieder durch ergleichung der von ihnen erregten Empfindung, durch das gleiche Aussehen zu itscheiden ist, wie bei allen farbigen Feldern. Die Mischfarbe als Summe ist ne ihren Theilen gleichartige Gröſse.

Alle ursprüngliche Bestimmung von physikalischen und geometrischen Gröſsen ruht nun, wie ich l. c zu zeigen versucht habe, darauf, daſs man additive Verüpfungsweisen derselben zu finden wisse. Sobald man diese kennt, kann man vei gleiche Gröſsen derselben Art zusammenfügen, und dadurch eine von doppelter, eifacher etc. Gröſse herstellen. Man kann dann die Gröſsen durch benannte ahlen definiren, d. h. man kann sie messen.

Nun giebt es aber Gröſsen, die erst durch mehrfache Bestimmungsstücke volländig gegeben sind, wie z. B. die geradlinige Strecke, um welche ein Punkt aus

[1] H. GRASSMANN, Die Ausdehnungslehre von 1844. 2. Aufl. Leipzig, 1878. Darin Begriff des hwerpunkts (Mitte eines Punktsystems) erörtert S. 42–47.

[2] H. v. HELMHOLTZ, „Zählen und Messen erkenntnisstheoretisch betrachtet“ in: Philosophische ıfsätze, EDUARD ZELLER gewidmet. Leipzig. Fucs. 1887.

einer ersten Lage in eine zweite fortbewegt worden ist. Es genügt nicht ihre Länge zu kennen, sondern auch ihre Richtung mufs gegeben sein, was durch zwei Winkel, die sie mit bekannten Richtungen macht, geschehen kann; im Ganzen also gehören dazu drei mefsbare Gröfsen. Statt dessen kann ich aber auch angeben, wenn ich meinen eigenen Körper als feststehend denke, um wieviel der Punkt nach oben, um wieviel nach rechts, um wie viel nach vorn verschoben sei. Um die neue Lage des Punktes vollständig zu geben, sind drei Bestimmungsstücke nöthig und im Allgemeinen auch genügend. Verschöbe sich der Punkt in einer Ebene, so wären zwei solche Abmessungen nöthig und genügend. Deshalb schreibt man dem Raume drei, der Ebene zwei Dimensionen zu, oder nach der von RIEMANN eingeführten Terminologie ist der Raum eine Mannigfaltigkeit von drei Dimensionen, die Ebene eine solche von zwei Dimensionen. In diesem Sinne nun sehen wir, dafs der Inbegriff aller möglichen Farben einer Mannigfaltigkeit von drei Dimensionen entspricht, die nur in einem räumlichen Volumen von drei Dimensionen, wie in LAMBERT's Pyramide so anzuordnen wäre, dafs jede Farbe ihren besonderen Ort findet, und ähnliche Farben einander um so näher liegen, je ähnlicher sie sind. Dagegen wenn wir uns auf den Inbegriff der Farben von gleichem Lichtquantum beschränken, bilden diese eine Mannigfaltigkeit von zwei Dimensionen, welche man in einer ebenen Farbentafel abbilden kann. Die Gewichte werden in der Farbentafel nur zu Hülfe genommen, um die dritte unabhängige Variable auch für Constructionen in der Ebene ausdrücken zu können. Und die Schwerpunktsconstruction wird hierbei nur deshalb herbeigezogen, weil auch sie ein additiver Procefs in der Ebene ist.

Denn wenn ich zwei Massen m_1 und m_2 in der Ebene habe, und $x_1 y_1$ die Coordinaten der ersten, $x_2 y_2$ die der zweiten, ξ und ζ die ihres Schwerpunkts sind, so sind wie schon S. 328 bemerkt, diese zu finden durch die Gleichungen

$$(m_1 + m_2) \cdot \xi = m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2$$
$$(m_1 + m_2) \cdot \zeta = m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2$$

oder wenn wir viele solche Massenpunkte haben und mit Σ die Summe aller entsprechenden Gröfsen bezeichnen

$$\xi \, . \, \Sigma(m) = \Sigma(mx)$$
$$\eta \, . \, \Sigma(m) = \Sigma(my)$$

Für das Resultat, den Ort des Schwerpunkt kommt es hierbei also nicht blos auf die Gröfse jeder Masse, sondern auch auf ihren Ort in der Tafel an. Ebenso bei den Farben, wenn wir deren besondere Qualität durch den Ort in der Tafel bezeichnen.

Darstellung der Farben durch geometrische Strecken. In NEWTON's Construction wird also nur ein additiver Procefs durch einen andern bildlich dargestellt, in welchem Gröfsen von derselben Anzahl von Dimensionen sich verbinden. Dafür könnte aber jede andre additive Verknüpfung ebenso gewählt werden. Nicht selten erweist es sich als vortheilhaft, nach dem Vorbild von LAMBERT's Farbenpyramide ein rechtwinkliges Coordinatensystem zu benutzen, und die Quanta dreier Grundfarben als Coordinaten x, y, z längs der drei Axen aufzutragen, und indem wir das rechtwinklige Parallelepipedon, dessen drei Seiten x, y, z sind, vervollständigen, die dem Nullpunkte des Coordinatensystems gegenüberliegende neuentstehende Ecke als Ort der Mischfarbe anzusehen. Die vom Nullpunkt nach dieser Stelle gezogene gerade Linie würde durch ihre Länge den Lichtwerth, durch ihre Richtung die Art der Farbe anzeigen. Alle aus den drei Grundfarben mischbaren Lichter würden demnach in der einen rechtwinkeligen Ecke des Raumes liegen, die zwische

[d]en positiven Hälften der drei Coordinataxen liegt. Wenn wir durch Punkte der [C]oordinataxen, welche um gleiche Distanzen c von dem Nullpunkt entfernt sind, [e]ine Ebene legen, so schneidet diese die Grenzebenen der rechtwinkeligen Ecke in [d]rei gleich langen geraden Linien und bildet die Basis einer dreikantigen Pyramide, [d]eren Spitze der Nullpunkt ist; sie entspricht LAMBERT's Farbenpyramide. Die [S]chnittebene, so weit sie in der genannten Ecke liegt, würde die Form eines [g]leichseitigen Dreiecks haben, und von allen den geraden Linien, die von dem [N]ullpunkt ausgehen und die den verschiedenen Farben entsprechen sollen, geschnitten [w]erden. Jeder Schnittpunkt einer dieser Linien mit der Ebene des Dreiecks würde [d]en Ort der entsprechenden Farbe in diesem anzeigen, und zwar würde die Ver[t]heilung der einzelnen Farben darin genau der durch Schwerpunktsconstructionen [h]erstellbaren Ordnung entsprechen. In jeder solchen Ebene würden aber nur [F]arben gewisser Helligkeit angeordnet sein, welche durch die Summe der Werthe [(x]$+ y + z$) gegeben ist. Die Gleichung der genannten Ebene wäre nämlich

$$x + y + z = c \, . \sqrt{3}.$$

Wenn zwei Farben, deren eine die Coordinaten x, y, z hat, die andere [ξ], η, ζ, gemischt werden, so würde bei ihrer Verbindung die Mischfarbe die [C]oordinaten $(x + \xi)$, $(y + \eta)$ $(z + \zeta)$ erhalten. In *Fig. 138* ist eine solche [V]erbindung wenigstens für zwei Coordinaten dargestellt. Wenn die eine Farbe durch [o]$a = r$, die andre durch $oc = \varrho$ [d]argestellt wird, und man ϱ gleich [u]nd parallel oc von a aus nach [b] aufträgt, so hat die Strecke [o]b die Projectionen $(x + \xi)$, $(y + \eta)$, [(]$z + \zeta$), und repräsentirt in [H]. GRASSMANN's Sinne die geo[m]etrische Summe der Strecken [o]a und $ab = oc$. Man sieht leicht, [d]afs die Strecke ob auch die Dia[g]onale des Parallelogramms ist, von [d]em zwei Seiten in oa und oc [g]egeben sind. Die Art der Ver[k]nüpfung beider ist also dieselbe, [w]ie bei der Construction der Re[s]ultante zweier zu componirenden [K]räfte oder Geschwindigkeiten.

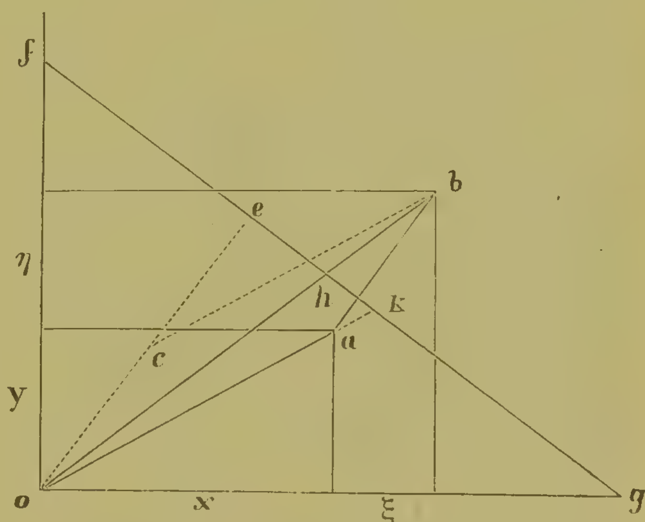


Fig. 138.

Übereinstimmung dieser Construction der Resultante mit der des Schwerpunkts.

Irgend eine Schnittfläche, die in der Linie fg (*Fig. 138*) die Zeichnung schneidet, [m]öge von den Linien oa und oc in k und e getroffen werden, wobei die Längen ok [u]nd oe auch gleichzeitig die Gewichtseinheiten der in der Ebene fg zu construirenden [F]arbentafel darstellen sollen. Wie der Schwerpunkt zweier in e und k angebrachten [M]assen mufs auch der Schnittpunkt h der Resultante ob zunächst in der geraden durch k [u]nd e gezogenen Linie liegen. Dann ergiebt sich aus bekannten trigonometrischen Sätzen

$$ao : ab = \sin(oba) : \sin(bok)$$

[o]der

$$r : \varrho = \sin(hoc) : \sin(hoa).$$

Ferner ist

$$kh : ko = sin\,(hoa) : sin\,(ohk)$$

$$eh : eo = sin\,(eoh) : sin\,(ohe)$$

Da (kho) und (eho) Nebenwinkel sind, sind ihre Sinus einander gleich. Folglich

$$\frac{eo\,.\,kh}{ko\,.\,eh} = \frac{sin\,(hoa)}{sin\,(eoh)} = \frac{\varrho}{r}$$

$$\frac{r}{ko}\,.\,kh = \frac{\varrho}{eo}\,.\,eh$$

Da die Verhältnisse $\frac{r}{ko}$ und $\frac{\varrho}{eo}$ die Lichtmengen, gemessen durch die in der Farbentafel zu brauchenden Gewichtseinheiten darstellen, so entspricht diese letzte Bestimmung des Ortes der Mischfarbe h in der ebenen Farbentafel ganz der Regel bei den Schwerpunktsconstructionen.

Übrigens gilt dieser letzte Beweis für jede in beliebiger Richtung durch drei Punkte der positiven Coordinataxen gelegte Schnittebene, welche Dreiecke von sehr verschiedenen Formen darbieten könnte, deren jedes eine mögliche Form der Farbeutafel darstellen würde. Wenn man sich die geometrische Farbentafel auf einer elastischen Platte dargestellt dächte, die man in irgend einer beliebig gewählten Richtung gleichmäfsig ausdehnt, würde man eine ähnliche Reihe von Gestaltveränderungen erhalten; doch würde jede dieser Farbentafeln noch richtig bleiben. Wir werden zunächst also noch zu überlegen haben, was das Bleibende in diesen Veränderungen ist.

Einflufs der Lichtquellen auf die Farbengleichungen.

Wenn man Farbengleichungen mit Körperfarben herzustellen sucht, wird man bald eine grofse Veränderlichkeit derselben nach der Art der Beleuchtung erkennen. Ja die Unterschiede zwischen Tageslicht und Lampenlicht sind hierbei aufserordentlich grofs. Da gefärbte Körper fast ausnahmslos Licht aus sehr breiten Theilen des Spectrum hindurchgehen lassen, hängt die Mischung des von ihnen reflectirten oder durchgelassenen Lichts in hohem Grade von der Mischung des beleuchtenden Lichtes ab und ändert sich mit dieser. Im Allgemeinen senden leuchtende Körper desto mehr blaues und violettes Licht aus, je höher ihre Temperatur ist; die Sonne am meisten. Eben deshalb überwiegen in dem Lichte der gewöhnlichen Flammen die rothen und gelben Strahlen, und sowohl die Substanz des Brennstoffs, wie die Regulirung des Verbrennungsprocesses haben sehr erkennbaren Einflufs auf die relative Lichtstärke der verschiedenen Spectralfarben. Auch das Sonnenlicht, welches die Atmosphäre unter wechselnden meteorologischen Verhältnissen durchzogen hat, ist nicht frei von Veränderungen seiner Mischung.

Eben deshalb ist die bequeme und leicht auszuführende Methode der Mischung auf dem Farbenkreisel wenig brauchbar zu genauen Messungen.

Wendet man dagegen einfaches Licht eines gut gereinigten Spectrum an, so ist man wenigstens sicher, dafs das Licht derselben Wellenlänge immer dieselbe Qualität habe, welche also durch Angabe der Wellenlänge vollständig bestimmt ist. Schwieriger ist es feste Verhältnisse der Lichtmengen verschiedener Spectralfarben herzustellen, festzuhalten und zu definiren. Man kann darin zunächst nur so weit kommen, als es gelingt, eine Lichtquelle unveränderlicher Art festzuhalten.

Dazu kommt, dafs in den prismatischen Spectren, welche hier vorzugsweise gebraucht werden müssen, da sie reiner und lichtstärker sind als die Diffractionsspectra, die Helligkeit der einzelnen Farbenbänder auch von der Breite, welch

ieselben im Spectrum einnehmen, und daher von dem besonderen Dispersionsverältnifs des gebrauchten Glases abhängen.

Weiteren Einflufs in derselben Richtung können absorbirende Mittel, namentch schwache Färbungen des Glases im Prisma und in den Linsen der Fernröhre aben.

Die brechenden Medien des Auges zeigen merkliche Färbung wohl nur in rankhaften Zuständen. Aber die Färbung des gelben Flecks wirkt auf spectrales rünblau (nahe der Linie F) sehr deutlich, und wie schon bemerkt, sehen lischungen, die dieses Blau enthalten, im Fixationspunkte des Sehfeldes anders us, als in kurzer Entfernung davon.

Unter diesen Umständen ist es wichtig hier diejenigen Bestimmungen anzuigen, die unabhängig von Intensitätsmessungen sind.

esthaltung einzelner Farben unter Vermeidung von Intensitätsmessungen.

Zunächst ist zu bemerken, dafs jede der Spectralfarben, und alle lischungen innerhalb der beiden Endstrecken des Spectrum, welche gleichussehend sind, wie gewisse Spectralfarben, durch die Wellenlängen dieser tzteren definirt werden können.

Für Mischungen, welche merklich weifslicher sind als die entsprechenden arbentöne des Spectrum, ist es dagegen immer möglich verschiedene arbenpaare anzugeben, aus denen sie gleichaussehend hergestellt werden önnen. Denn da die ganze Reihe von Mischfarben, welche aus zwei beimmten Spectralfarben zusammengesetzt werden können, in einer geraden inie der Farbentafel liegt, so kann eine Farbe, die gleichaussehend aus zwei erschiedenen Paaren von Spectralfarben gemischt werden kann, nur im chnittpunkte der beiden geraden Linien liegen, welche in der Farbentafel ie Orte der beiden je zu einem Paar zugehörigen Spectralfarben verbindet. ugleich ergiebt sich daraus, dafs nur eine einzige solche Farbe existiren ann, da sich zwei gerade Linien nur in einem Punkte schneiden. Durch ie angegebene Bestimmung ist also die betreffende Farbe unzweideutig estimmt.

So kann man also zum Beispiel die Angaben über die complementären arben verschiedener Beobachter auf S. 317—319, ansehen als Definitionen esjenigen Weifs, welches jene Beobachter ihren Bestimmungen zu Grunde elegt haben.

Auf diese Weise wird also ein Beobachter das Weifs eines bestimmten ageslichts auch durch Gaslicht wieder herstellen können.

Es ist ferner zu bemerken, dafs wenn man zwei Farbenpaare a_1, a_2 nd b_1, b_2 und noch eine Farbe c_1 aus dem Spectrum als gegeben ansieht, die chste Spectralfarbe c_2, welche mit c_1 dieselbe Mischfarbe bilden kann, wie mit a_2 einerseits, und b_1 mit b_2 andrerseits, fest bestimmt wäre. Sie müfste der Farbentafel da liegen, wo die von c_1 aus durch den Ort der geeinsamen Mischfarbe von a_1 und a_2, beziehlich b_1 und b_2 gezogene gerade inie die Spectralcurve schneidet.

Es wären dies Beziehungen zwischen den Farben, welche unabhängig von ihren Helligkeitsverhältnissen in der betreffenden Lichtquelle bestehen müssen. Eben deshalb wären sie auch unabhängig von der Einschaltung schwach gefärbter Medien zwischen Lichtquelle und Auge oder im Auge selbst, da solche nichts weiter bewirken, als die Helligkeitsverhältnisse zwischen den einzelnen Farben des Spectrum zu verändern.

Andrerseits wären solche Messungen auch sehr geeignet Änderungen der objectiven Lichtintensität verschiedener Theile des Spectrum erkennen zu lassen; denn sobald solche einträten, würde das Mengenverhältniſs der beiden Componenten beider Paare geändert werden müssen.

Curve der Spectralfarben.

Wenn man die Curve der Spectralfarben in der Farbenebene darzustellen sucht, so lassen die oben S. 320 gegebenen Versuchsergebnisse schon erkennen, daſs diese einen offenen Bogen darstellen wird, der in beiden Zwischenstrecken sich einer geraden Linie eng annähert, während in der Mitte eine gekrümmte Mittelstrecke bleibt, und die Endstrecken sich in einen Punkt zusammenziehen.

Ich gebe in *Fig. 139* eine von den Herren A. König und C. Dieterici nach ihren gemeinschaftlich ausgeführten Messungen construirte Tafel,[1] in der die Buchstaben A bis H, sowie a und b die entsprechenden Fraunhofer'schen Linien bezeichnen. Die Farben jenseits B im äuſsersten Roth und jenseits G im Violet fallen in die Endpunkte der Curve zusammen, während andrerseits die Farben zwischen C und E, und noch mehr die im bläulichen Grün zwischen b und F sich sehr weit auseinanderziehen. In der That liegen hier (S. 317) die Stellen des Spectrum, wo der Farbenton sich sehr schnell ändert. Die rothe Zwischenstrecke reicht von dem Endpunkte bis etwa zur Mitte zwischen C und D, die violette umfaſst das geradlinige umgeknickte Ende der Curve. Der Knick könnte wohl davon herrühren, daſs sich hier bläulichweiſse Fluorescenz der Netzhaut zu dem unmittelbaren Einfluſs des Lichtes gesellt, und die violetten Farben sich deshalb in der Richtung gegen das Weiſs hin verschoben haben.

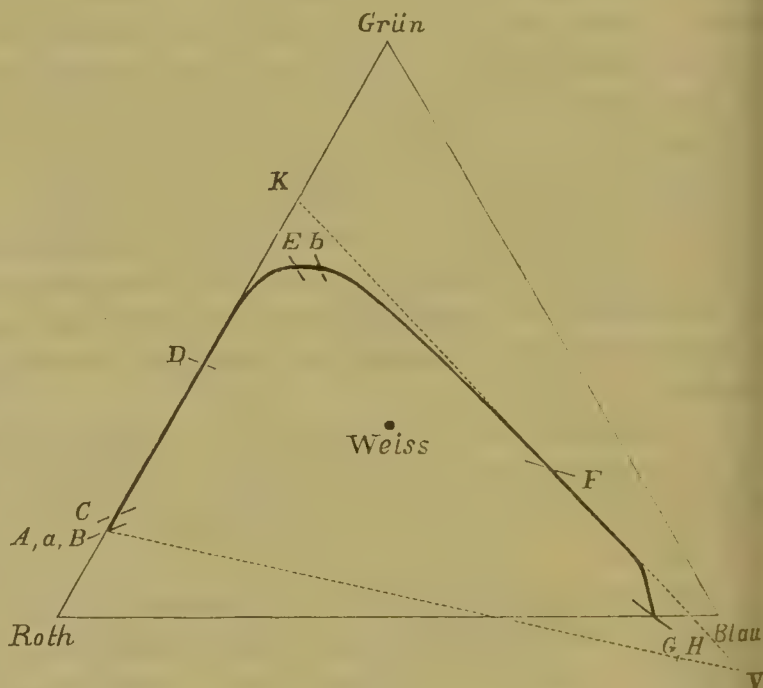


Fig. 139

[1] A. König. *Rep. of the British Assoc.* Birmingham 1886. pag. 431. — *Naturwiss. Rundschau* Jahrg. I 1886. S. 457.

Es sind zwei Dreiecke um diese Curve gelegt worden, das eine gleichseitige mit ausgezogenen Seiten beruht auf einem Versuche der Herren König und Dieterici, die physiologischen Grundfarben durch Vergleichung der normalen Augen mit den farbenblinden zu finden, wovon später mehr. Das andre punktirte sucht die Spectralcurve möglichst eng zu umschliefsen, wobei die Abweichung im Violet als verursacht durch die Fluorescenz angesehen wird. Die Ecken dieses Dreiecks R, K, V entfernen sich am wenigsten von den Spectralfarben. Das darin vorkommende Grün im Punkte K würde im Farbenton den Magnesiumlinien b im Sonnenspectrum entsprechen, müfste aber etwas gesättigter sein.

Allgemeine theoretische Erörterungen.

Jede Art additiver Verknüpfung irgend welcher natürlicher Gröfsen, welche aufgefunden worden ist, kann unmittelbar zur Grundlage eines Messungssystems dieser Gröfsen gemacht werden; so auch das Gesetz der Farbenmischung. Haben wir es mit Gröfsen aus einer Mannigfaltigkeit von einer Dimension zu thun, so genügt es dann eine bestimmte Gröfse dieser Art als die Maafseinheit zu wählen. Wie grofs wir sie wählen, ist der Regel nach willkürlich. Wenn aber die betreffenden Gröfsen einem Gebiete von drei Dimensionen angehören, so haben wir im allgemeinen drei willkürliche Einheiten zu wählen nicht nur der Gröfse nach, sondern auch der Qualität nach. Auch in den Raummessungen ist nicht nur die gewählte Längeneinheit willkürlich, sondern auch die drei Richtungen der Coordinaten, auf welche wir alle andern Lagenbestimmungen beziehen wollen. Da wir jedoch in diesem Falle denselben Längenmaafsstab an jede der Coordinatenrichtungen anlegen können, so können wir wenigstens dieselbe Längeneinheit nach allen Richtungen hin zu Grunde legen. Im Farbensystem haben wir ebenfalls eine Mannigfaltigkeit von drei Dimensionen, und müssen daher drei Einheiten willkürlich wählen. Die Willkürlichkeit der gewählten Ausgangsfarben entspricht hier der Willkürlichkeit der Coordinaten-Richtung des Raumes. Über die Möglichkeit, die Quanta der drei verschiedenen Lichter auf ein gemeinsames Grundmaafs zurückzuführen, werden wir im nächsten Paragraphen zu verhandeln haben. Es sind zunächst auch hier, wie bei den Raumcoordinaten, nebensächliche Verhältnisse oder auch hypothetische Ansichten, die uns die Wahl des einen oder andern Coordinatensystems bevorzugen lassen.

Wenn wir nun die Grundfarben und ihre quantitativen Einheiten R, G, V gewählt haben, dann kann der physiologische Eindruck jeder andern Farbe F dadurch vollkommen beschrieben werden, dafs wir sagen, sie sehe so aus, wie eine Vereinigung von so und so viel Einheiten R, G und V. Also wenn wir mit x, y, z Zahlen bezeichnen

$$F = x \,.\, R + y \,.\, G + z \,.\, V.$$

Wir erreichen dadurch zunächst ebenso viel, als wenn wir die Länge eines Stabes uns oder Andern dadurch bezeichnen, dafs wir dieselbe in Centimetern ausdrücken.

Was aber hier verglichen und messend bestimmt wird, ist eine physiologische Wirkung des Lichtes auf das Auge, welche überdies noch beeinflufst wird durch allerlei individuelle und physiologische Verhältnisse, die theils schon besprochen sind, theils später noch besprochen werden sollen. Die objectiven Lichtmengen kommen hier nur als Empfindungsreize in Betracht, und haben als solche einen physikalisch mefsbaren Werth. Wenn wir also z. B., was zunächst noch willkürlich

ist, als Grundfarbe gewisse Quanta Roth, Grün, Violet mit den Einheiten R, G, V gewählt haben und für gemischtes farbiges Licht F die Farbengleichung

$$F = x \cdot R + y \cdot G + z \cdot V$$

hätten, so wäre x der Rothwerth, y der Grünwerth, z der Violetwerth des Lichtes F zu nennen.

Es folgt nun aber daraus auch weiter, dafs es in der Empfindung des Auges drei entsprechende Arten der Thätigkeit geben mufs, die, ohne sich gegenseitig zu stören, neben einander bestehen können, und von denen alle Verschiedenheit der Farbenempfindung abhängt.

Nehmen wir an, es sei irgend ein Verfahren gefunden, sei es innere Beobachtung, die z. B. Herr E. Hering dazu für brauchbar hält, oder irgend ein anderes, um drei mefsbare Gröfsen φ, ψ, χ zu bestimmen, die zusammengenommen die Art der Empfindung des Auges vollständig definiren: so würde jedenfalls durch Beobachtung ermittelt werden können, wie die Werthe dieser Gröfsen φ, ψ, χ abhängen von den Werthen x, y, z des einfallenden Lichts. Es würden also einmal φ, ψ und χ als drei Functionen der x, y, z, wie auch umgekehrt x, y, z als Functionen der φ, ψ, χ dargestellt werden können. Da keine zwei verschiedene Werthegruppen der x, y, z dieselbe Empfindung, d. h. dieselben Werthe der φ, ψ, χ geben, so müssen die x, y, z auch eindeutig durch die φ, ψ, χ ausgedrückt werden können. Diese die Werthe der x, y, z darstellenden Functionen der φ, ψ, χ wären also Gröfsen, die nur von den Eigenthümlichkeiten der Empfindung abhängen und durch die Art der Empfindung bestimmt wären, denen andrerseits eine gewisse Selbständigkeit der Existenz zukäme, da jede neben beiden andern, und ungestört durch die andern im Nervenapparate erregt werden, bestehen und wieder verschwinden könnte. Dieses ungestörte neben einander Bestehen ist es aber gerade, was wir verlangen müssen, wenn wir von Elementen oder Bestandtheilen der Empfindung reden sollen. Wenn wir also die x darstellende Function von φ, ψ, χ mit r, entsprechend die beiden andern mit g, v bezeichnen, so wären diese Gröfsen r, g, v in der That als Elemente der Farbenempfindung zu bezeichnen. Aber auch allen additiven Aggregaten ersten Grades von der Form $(a \cdot r + b \cdot g + c \cdot v)$, worin a, b, c Zahlen sind — positive, oder soweit das einen Sinn haben sollte, auch negative — würden dieselbe Art ungestörten Nebeneinanderbestehens zeigen können. Welche von solchen linearen Functionen der r, g, v wir am zweckmäfsigsten als Elemente wählen, bleibt zunächst noch unentschieden.

Andrerseits aber giebt es keine anderen als diese linearen Functionen der r, g, v, welche, wenn zwei Lichter mit den Farbenwerthen x_1, y_1, z_1 und x_2, y_2, z_2 zusammenkommen, sich einfach addiren, und die dementsprechend als Elemente der Farbenempfindung angesehen werden könnten. Natürlich schliefst dies nicht aus, dafs andere Wirkungen im Bereich der Gesichtsempfindungen zu Stande kommen, die in verwickelterer Weise von den x, y, z abhängen. Eine solche Wirkung werden wir in der Unterschiedsempfindlichkeit des Auges und der nach dieser bestimmten Intensität der Empfindung kennen lernen. Aber solche Gröfsen, für welche nicht die Möglichkeit auch quantitativ ungestörten Nebeneinanderbestehens erwiesen ist, werden wir, wenn wir genau reden wollen, auch nicht Elemente der Empfindung nennen dürfen.

Da die Verkennung dieses Satzes grofse Verwirrung in der Farbenlehre angerichtet hat, erlaube ich mir, seinen verhältnifsmäfsig einfachen analytischen Beweis hierher zu setzen.

Die Frage ist also, ob es irgend eine Function F der Gröſsen x, y, z geben könne, welche addirt zu derselben Function andrer Werthe ξ, η, ζ derselben Variablen, eine Function von $(x+\xi)$, $(y+\eta)$, $(z+\zeta)$ gäbe. Es fragt sich also, unter welchen Bedingungen eine Gleichung

$$F(x+\xi),\ (y+\eta),\ (z+\zeta) = Fx,\ y,\ z + F\xi,\ \eta,\ \zeta$$

für beliebig wechselnde Werthe der Variablen bestehen könne.

Wenn sie für einen gegebenen Werth von x besteht, und auch für einen unendlich wenig davon verschiedenen bestehen soll, so muſs die Gleichung nach x differentiirt wieder eine für alle Werthe der Variablen gültige Gleichung geben.

$$\frac{d\,F(x+\xi)}{d\,[x+\xi]} = \frac{d\,F_x}{d\,x}$$

Die Function $F(\xi)$, welche von x nicht abhängig ist, fällt dabei fort. Differentiirt man die letzte Gleichung ebenso, sei es nach ξ oder nach η oder nach ζ, so fällt auch die zweite Function, die von den x allein abhängt, weg, und es ergiebt sich, daſs sämmtliche zweiten Differentialquotienten der Function $F(x+\xi)$ nach irgend welchen ihrer Variablen $(x+\xi)$, $(y+\eta)$ oder $(z+\zeta)$ genommen gleich Null sind.

Wenn aber für eine Function von x, y, z gleichzeitig

$$\frac{d^2\,F}{d\,x^2} = 0, \quad \frac{d^2F}{d\,x\,.\,d\,y} = 0, \quad \frac{d^2F}{d\,x\,.\,d\,z} = 0,$$

so folgt aus diesen Gleichungen nach einander, daſs $\frac{dF}{dx}$ weder von x, noch von y, noch von z abhängig, also eine Constante sei. Dasselbe folgt für $\frac{d\,F}{dy}$ und $\frac{d\,F}{dz}$. Daraus folgt schlieſslich in bekannter Weise, daſs F nur die Form haben könne

$$F = ax + by + cz,$$

wo a, b, c von den x, y, z unabhängig sind.

Im ganzen ist aus diesen Erörterungen also zu schlieſsen,

1. daſs in irgend einem Abschnitte der leitenden Nervensubstanz unter dem Einflusse farbigen Lichts drei verschiedene, von einander unabhängige und sich gegenseitig nicht störende Elementarthätigkeiten zu Stande kommen; wir wollen sie die Elementarerregungen nennen. Ihre Gröſse ist den entsprechenden Farbenwerthen x, y, z des objectiven Lichts direct proportional; sie entsprechen den r, g, v der obigen Darstellung.

2. daſs alle weiter nach dem Gehirn hin auftretenden Thätigkeiten, auch die eigentlich zum Bewuſstsein gelangenden Empfindungen bei gegebenem Zustande der reagirenden Hirntheile nur Wirkungen, und der Gröſse nach Functionen φ, χ, ψ der drei Elementarerregungen r, g, v sind.

3. daſs entweder die Elementarerregungen selbst oder drei von ihnen abhängige, sich gegenseitig nicht störende Wirkungen derselben getrennt dem Centralorgan zugeleitet werden.

Über diese weiteren Thätigkeiten in den tieferen Organen wissen wir nun nichts mit Sicherheit. Gewiſse Anhaltspunkte wird uns die Untersuchung der erkennbaren Unterschiede und der Nachwirkungen der Empfindung geben.

Selbstverständlich ist, da wir es in diesem ganzen Gebiete immer nur mit Wirkungen des objectiven Lichtes auf Organe des lebenden Körpers zu thun haben, daſs die physiologischen Zustände dieser Organe, die Änderungen ihrer Reizbarkeit, wie sie in der Physiologie bezeichnet werden, Einfluſs auf die Gröſse und Art der Wirkung haben, und somit die Abhängigkeit zwischen den φ, ψ, χ

einerseits und den x, y, z andrerseits beeinflussen, so dafs in die Gleichungen, welche diese Abhängigkeit ausdrücken, noch andere veränderliche, von den Zuständen der Organe, aber nicht von dem zur Zeit einfallenden Lichte abhängige Gröfsen eingehen. Diese würden also dann auch in die durch φ, ψ, χ ausgedrückten Werthe der r, g, v eintreten und eine gewisse Veränderlichkeit in der Gröfse oder Art der elementaren Vorgänge anzeigen. Änderungen in der Gröfse sind in der That bekannt, und werden in der Lehre von den Nachbildern besprochen werden.

Ferner ist zunächst kein Grund da anzunehmen, dafs wir diese so bestimmten Elemente der Empfindung durch einen unmittelbaren Act des Bewufstseins sollten von einander scheiden können, um sie unmittelbar als Elemente zu erkennen. Der Regel nach heften wir unsre Aufmerksamkeit nur auf solche Unterschiede der Empfindungen, welche in regelmäfsiger Weise mit gewissen objectiven Verhältnissen der uns umgebenden Natur zusammenhängen. Betreffs der Farben ist das Hauptziel unsrer Aufmerksamkeit die richtige Abschätzung der Körperfarben. Darin erlangen wir in der That grofse Sicherheit, während schon besondere Einübung oder günstige Bedingungen für die Beobachtung dazu gehören, die Veränderungen der Körperfarben durch Luftfarben, durch die Beleuchtung, durch Contraste sicher aufzufassen. Im Gebiete der Körperfarben hat nun in der That das Weifs eine hervorragende Stellung; weifsliche Farben werden am meisten gesehen. Sie bilden den Mittelpunkt der ganzen Farbenwelt, und was nicht weifs ist, erscheint nur als Abweichung von Weifs. Wir schätzen es nach der Gröfse dieser Abweichung (Sättigung) und ihrer Richtung (Farbenton). Diese Verhältnisse sind es auch, wie schon bemerkt, die wir in der Sprache festzulegen suchen. Dabei ist im ganzen darauf zu rechnen, dafs die Sprache ungefähr gleich deutlich für die unmittelbare Empfindung hervortretende Unterschiede durch besondere Namen zu unterscheiden suchen wird.

Immerhin ist es beachtenswerth, dafs dieses nur zur Bezeichnung der unmittelbar wahrzunehmenden Ähnlichkeiten und Verschiedenheiten der Farben ausgearbeitete System von Namen, wenigstens in seinen Hauptzügen, mit der in der Farbentafel oder der Farbenpyramide dargestellten Anordnung der Farben übereinstimmt, woraus es einigermafsen wahrscheinlich wird, dafs die bewufstwerdenden Empfindungen selbst verhältnifsmäfsig wenig verwickelten oder veränderten Functionen gewisser Elementarerregungen entsprechen.

Andre Forscher freilich, wie E. Hering und C. Donders nehmen an, dafs hier neue Combinationen aus den Elementarerregungen entstehen, die unabhängig neben einander in das Bewufstsein treten und als gesondert unterschieden werden.

Hypothesen. Die aus dem Farbenmischungsgesetze zu erschliefsende Thatsache, dafs drei von einander unabhängig verlaufende Empfindungscomponenten durch die äufsere Reizung hervorgerufen werden, haben ihren bestimmteren und anschaulicheren Ausdruck in den Hypothesen erhalten, welche annehmen, dafs diese verschiedenen Componenten der Empfindung in verschiedenen Theilen des Sehnervenapparats erregt und fortgeleitet werden, dann aber gleichzeitig zur Wahrnehmung gelangen und dabei, so weit sie von derselben Stelle der Netzhaut aus erregt worden sind, auch in derselben Stelle des Sehfeldes gleichzeitig localisirt werden.

Eine solche Theorie wurde zuerst von Thomas Young[1] aufgestellt. Die nähere Durchführung derselben ist wesentlich bedingt dadurch, dafs ihr Autor den lichtempfindenden Nerven des Auges nur diejenigen Eigenschaften und Fähigkeiten zuschreiben wollte, welche wir für die motorischen Nerven der Thiere und des Menschen sicher kennen. Diese letzteren durch Versuche zu ermitteln haben wir viel günstigere Gelegenheit als bei den Empfindungsnerven, da wir die feinsten Veränderungen ihrer Erregung und Erregbarkeit durch die in den Muskeln erregten Contractionen und deren Veränderungen verhältnifsmäfsig leicht und deutlich erkennen und abmessen können. Was wir übrigens sonst über den Bau, die chemische Beschaffenheit, die Erregbarkeit, Leitungsfähigkeit, das elektrische Verhalten der sensiblen Nerven haben ermitteln können, stimmt so vollständig mit dem entsprechenden Verhalten der motorischen Nerven überein, dafs fundamentale Verschiedenheiten in der Art ihrer Thätigkeit, soweit sie nicht von den mit ihnen verbundenen anderen organischen Apparaten abhängen, auf die sie ihre Wirkung ausüben, äufserst unwahrscheinlich sind. Diese Verhältnisse sind zum Theil schon in § 17 besprochen.

Nun kennen wir für die motorischen Nerven nur den Gegensatz zwischen dem Zustande der Ruhe und der Thätigkeit. Im ersteren kann der Nerv lange Zeit unverändert erhalten werden, ohne erheblichen Stoffwechsel oder Wärmeentwicklung; dabei bleibt der von diesem Nerven abhängige Muskel schlaff. Wenn man den Nerven reizt, entwickelt sich Wärme in ihm, stoffliche Änderungen, elektrische Oscillationen sind nachzuweisen, der Muskel contrahirt sich. Im ausgeschnittenen Nervenpräparat geht die Leistungsfähigkeit dabei schnell verloren, wahrscheinlich wegen des Verbrauchs der zur Thätigkeit nöthigen chemischen Bestandtheile. Unter Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs, oder besser noch des sauerstoffhaltigen arteriellen Bluts stellt sich langsam die Reizbarkeit ganz oder theilweise wieder her, ohne dafs diese Wiederherstellungsprocesse Zusammenziehungen des Muskels oder die mit der Thätigkeit zusammenfallenden Änderungen des elektrischen Verhaltens in Nerv oder Muskel erregen. Auch kennen wir kein äufseres Mittel, welches diesen Wiederherstellungsprocefs so schnell und intensiv hervorrufen und ihn dabei auch so plötzlich eintreten und wieder aufhören lassen könnte, wie es nöthig sein würde, wenn dieser Procefs als physiologische Grundlage kräftiger und präcis eintretender Empfindung dienen sollte.

Wenn wir unsere Annahmen bei der Ausbildung der Theorie des Farbensehens auf diese den Nerven sicher zukommenden Fähigkeiten beschränken, so ist dadurch in ziemlich festen Umrissen die Theorie von Th. Young gegeben.

Die Empfindung von Dunkel entspricht dem Ruhezustand des Sehnerven, die von farbigem oder weifsem Licht einer Erregung desselben. Die drei einfachen Empfindungen, welche der Erregung nur eines einzigen der drei

[1] Th. Young, *Lectures on Natural Philosophy.* London. 1807.

Nervenapparate entsprechen und aus denen sich alle anderen zusammensetzen lassen, müssen in der Farbentafel den drei Eckpunkten des Farbendreiecks entsprechen.

Um möglichst wenige durch objective Erregung nicht nachweisbare Farbenempfindungen anzunehmen, scheint es zweckmäfsig, die Ecken des Farbendreiecks so zu wählen, dafs dessen Seiten die Curven der Spectralfarben möglichst eng umschliefsen.

291 Dem entsprechend hat nun TH. YOUNG[1] angenommen:

1. Es giebt im Auge drei Arten von Nervenfasern. Reizung der ersten erregt die Empfindung des Roth, Reizung der zweiten die des Grün, Reizung der dritten die Empfindung des Violet.
2. Objectives homogenes Licht erregt diese drei Arten von Fasern je nach seiner Wellenlänge in verschiedener Stärke. Die rothempfindenden Fasern werden am stärksten erregt von dem Lichte gröfster Wellenlänge, die grünempfindenden von dem Lichte mittlerer Wellenlänge, die violetempfindenden von dem Lichte kleinster Wellenlänge. Indessen ist dabei nicht ausgeschlossen, mufs vielmehr zur Erklärung einer Reihe von Erscheinungen angenommen werden, dafs jede Spectralfarbe alle Arten von Fasern erregt, aber die einen schwach, die andern stark. Denken wir uns in *Fig. 140* in horizontaler Richtung die Spectralfarben in ihrer natürlichen Reihenfolge aufgetragen, anfangend von Roth *R* bis zum Violet *V*, so können die drei Curven etwa die Erregungsstärke der drei Arten von Fasern darstellen, No. 1 die der rothempfindenden, No. 2 der grünempfindenden, No. 3 der violetempfindenden.[2]

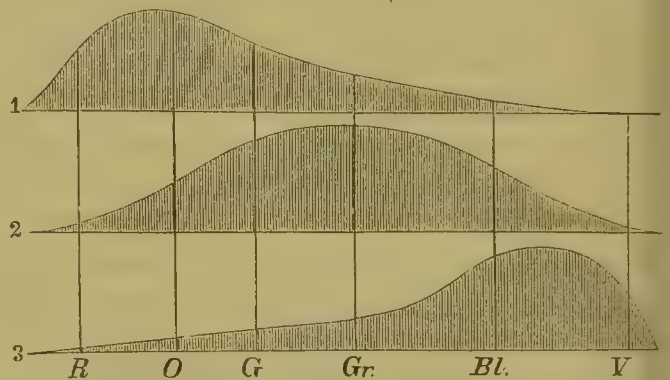


Fig. 140.

Das einfache Roth erregt stark die rothempfindenden, schwach die beiden andern Faserarten; Empfindung: roth.

Das einfache Gelb erregt mäfsig stark die roth- und grünempfindenden, schwach die violetten; Empfindung: gelb.

Das einfache Grün erregt stark die grünempfindenden, viel schwächer die beiden anderen Arten; Empfindung: grün.

Das einfache Blau erregt mäfsig stark die grün- und violetempfindenden, schwach die rothen; Empfindung: blau.

---

[1] TH. YOUNG, *Lectures on Natural Philosophy.* London, 1807.
[2] Genauere nach Messungen ausgeführte Constructionen dieser Curven folgen unten in *Fig. 149.*

Das einfache Violet erregt stark die gleichnamigen, schwach die anderen Fasern; Empfindung: violet.

Erregung aller Fasern von ziemlich gleicher Stärke giebt die Empfindung von Weifs oder weifslichen Farben.

Vielleicht nimmt bei dieser Hypothese zunächst mancher daran Anstofs, dafs die Zahl der vorauszusetzenden Nervenfasern und Nervenendigungen verdreifacht werden mufs, im Vergleich mit der älteren Annahme, wo man jede einzelne Nervenfaser alle möglichen Farbenerregungen leiten liefs. Ich glaube aber nicht, dafs in dieser Beziehung die Annahme von Young *n*
mit den anatomischen Thatsachen in Widerspruch steht; schon auf S. 264 ist eine Hypothese erörtert worden, welche die Genauigkeit des Sehens mit Hülfe einer viel kleineren Zahl von Sehnervenfasern erklärt, als die der unterscheidbaren Örter im Sehfelde ist.

Die Wahl der drei Grundfarben hat, wie schon oben bemerkt wurde, *292*
zunächst etwas Willkürliches. Es könnten beliebig jede drei Farben gewählt werden, aus denen Weifs zusammengesetzt werden kann. Young ist wohl durch die Rücksicht geleitet worden, dafs die Endfarben des Spectrum *293*
eine ausgezeichnete Stellung zu beanspruchen scheinen. Würden wir diese nicht wählen, so müfste eine der Grundfarben ein purpurner Farbenton sein, und die ihr entsprechende Curve in *Fig. 140* zwei Maxima haben, eines im Roth, eines im Violet.

Der einzige Umstand, welcher direct in der Empfindungsweise sich *n*
geltend macht, und einen Anhalt für die Bestimmung der Grundfarben zu gewähren scheint, ist die anscheinend gröfsere Farbensättigung des Roth und Violet, die auch, weniger entschieden freilich, für das Grün sich noch merklich macht. Da wir die Farben um so gesättigter nennen, je mehr sie von Weifs unterschieden sind, so müssen wir erwarten, dafs grofse Sättigung namentlich denjenigen Spectralfarben zukommen müsse, die die einfachsten Farbenempfindungen am reinsten hervorrufen. In der That haben diese Farben, wenn sie sehr rein sind, selbst bei geringer Helligkeit etwas intensiv Glühendes, fast Blendendes. Namentlich giebt es manche rothe, violete oder blauviolete Blüthen, z. B. von Cinerarien, deren Farben diese eigenthümliche Verbindung von Dunklem und Blendendem zeigen. Young's Hypothese giebt dafür eine einfache Erklärung. Eine dunkle Farbe kann eine intensive Erregung eines der drei Nervenapparate geben, während entsprechend helles Weifs viel schwächere Erregung dreier Nervenapparate giebt. Der Unterschied erscheint analog dem zwischen der Empfindung von sehr heifsem Wasser auf einer kleinen Hautstelle und lauwarmem Wasser, was eine gröfsere Hautfläche trifft.

Am meisten macht mir das Violet diesen Eindruck einer tief gesättigten Farbe, aber bei der geringen Lichtstärke der eigentlich violetten Strahlen, wie sie selbst im Sonnenlicht vorkommen, und der Einmischung des Fluorescenzlichtes, kommt ihm das durch gröfsere Lichtstärke begünstigte Ultramarinblau verhältnifsmäfsig nahe. Das eigentlich reine Violet des Spectrum

ist im Laienpublicum sehr wenig gekannt, da die violetten Farbstoffe fas immer etwas zugemischtes Roth geben, oder sehr dunkel erscheinen. Ebe deshalb erregen die dem Violet nahe kommenden Abstufungen des Ultra marinblau viel mehr die allgemeine Aufmerksamkeit und sind viel besse bekannt und durch einen älteren Namen, den des Blau ausgezeichnet, als da eigentliche Violet. Aufserdem hat man in dem tiefen Ultramarinblau de reinsten Himmels ein höchst imponirendes, allbekanntes und constantes Muste dieser Farbe.

Ich suche hierin den Grund, warum in älteren Zeiten immer Blau al die eine Grundfarbe angesehen worden ist. Und auch die neueren Beob achter, welche Farbengleichungen aufgesucht haben, wie MAXWELL, A. KÖNI sind zum Theil dazu zurückgekehrt. Für beide letzteren lag freilich ei bestimmterer Grund in der schon oben erwähnten Krümmung der Curve de Spectralfarben im Violet.

Zu erwähnen wäre hier noch, dafs die Venetianische Malerschule, di besonders durch die tiefe Farbengluth ihres Colorits wirkt, die Zusammen stellung der drei Farben Roth, Grün und Violet vorzugsweise liebt.

Ich bezweifle übrigens durchaus die von einzelnen Forschern ausge sprochene Meinung, dafs in den Namen der Farben sich das Bedürfnifs, di Grundempfindungen zu bezeichnen, ausgesprochen habe, und diese deshal bei der Bestimmung Anhaltspunkte geben könnten. Unsere Voreltern hatte in den Farben ein Gebiet fliefsender Unterschiede vor sich. Wollten si darin bestimmte Stufen festhalten, so mufsten sie vor allen Dingen nac guten allgemein bekannten, und immer wieder zu beachtenden Mustern auf fallender Färbung suchen. Die Namen für Roth führen zurück auf Sanskrit rudhira = Blut, und auch „roth“. Davon *ἐρυθρος*, rufus, ruber, roth, re u. s. w. Für „Blau“ haben die Griechen *πορφυρεος* und *κυανεος*, die sic auf das Meer zu beziehen scheinen, die Lateiner coeruleus von coelum, di Deutschen „blau“, englisch: blue, holländisch: blau, altdeutsch: blaw, di auf englisch: blow, blasen d. h. Farbe der Luft, zu führen scheinen. Di Namen für Grün führen auf die Vegetation zurück, *πρασινος* (wiesenfarbig *ποῤῥωδες* (lauchartig), viridis von vis, virescere; deutsch: grün, englisch green, führen auf grow, wachsen.

Die ältesten Farbenbezeichnungen waren sehr unbestimmt; *ξανθο* scheint von goldgelb bis blaugrün gereicht zu haben. Es war offenbar ein schwere Aufgabe, dieses fliefsende Gebiet in festen Stufen zu fixiren. Noc jetzt wird es selbst begabten Kindern schwer, die Farbennamen zu lerner Man darf daraus nicht auf Farbenblindheit der alten Völker schliefse wollen.

Dafs es unmöglich ist aus der Reihe der durch objectives Licht erre baren Farben drei auszulesen, die als Grundempfindungen angesehen werde könnten, ist schon oben S. 320 erörtert worden. Es ist eben deshalb vo den Herren A. KÖNIG und C. DIETERICI die Mittelstrecke des Spectru unterschieden worden, deren Farben nicht mehr aus den Endfarben un

einer in ihr liegenden Spectralfarbe gemischt werden können. Die nach den Messungen derselben Beobachter entworfene Farbentafel *Fig. 139* zeigt dieselbe Thatsache in graphischer Darstellung. Eben deshalb ist für Th. Young's Theorie die Annahme nothwendig, dafs im allgemeinen jede Spectralfarbe gleichzeitig, wenn auch in verschiedener Stärke, nicht blos einen, sondern zwei oder alle drei von den drei farbenempfindenden Nervenapparaten erregt. Höchstens für die Endfarben des Spectrum, Roth und Violet, würde die Annahme der Einfachheit zulässig sein. Aber gerade beim Violet wissen wir, dafs die von den violetten Strahlen hervorgerufene Fluorescenz der Netzhaut die Reinheit der Empfindung trüben mufs, und es scheint mir nicht unwahrscheinlich, dafs die schon von Maxwell gefundene und auch in *Fig. 139* bemerkbare Krümmung der Linie zwischen F und G von der Fluorescenz der Netzhaut bedingt ist.

Daraus folgt nun weiter, dafs es theoretisch möglich erscheinen mufs, durch andere Bedingungen der Erregung Empfindungen gesättigterer Farben hervorzurufen. Dafs dies auch praktisch möglich ist, und diese Forderung von Young's Theorie wirklich erfüllt werden kann, werde ich bei der Beschreibung der Nachbilder zu erörtern haben.

Die geschilderte Farbentheorie von Th. Young ist der allgemeinen Theorie der Nerventhätigkeit gegenüber, wie sie von Johannes Müller ausgearbeitet worden ist, eine speciellere Durchführung des Gesetzes von den specifischen Empfindungen. Ihren Annahmen entsprechend wären die Empfindung des Roth, des Grün, des Violet als bestimmt durch die specifische Empfindungsenergie der entsprechenden drei Nervenapparate anzusehen. Jede beliebige Art der Erregung, welche den betreffenden Apparat überhaupt erregen kann, würde in ihm immer nur seine specifische Empfindung hervorrufen können. Den Grund der besonderen Qualität dieser Empfindungen dürfen wir wohl nicht in der Netzhaut oder der Beschaffenheit ihrer Fasern, sondern in der Thätigkeit der mit ihnen verbundenen centralen Gehirntheile suchen.

Ich habe bis hierher die Auseinandersetzung dieser Theorie verhältnifsmäfsig abstract gehalten, um dieselbe möglichst frei von weiter gehenden hypothetischen Zusätzen zu halten. Indessen hat es andrerseits grofse Vortheile für das sichere Verständnifs solcher Abstractionen, wenn man sich möglichst concrete Bilder davon zu machen sucht, selbst wenn diese manche Voraussetzung hineinbringen, die für das Wesen der Sache nicht gerade nothwendig ist. In diesem Sinne erlaube ich mir, die folgende etwas handgreiflichere Gestalt der Young'schen Theorie vorzutragen. Dafs Einwände gegen diese Zusätze das Wesen von Young's Hypothese nicht widerlegen, brauche ich wohl nicht auseinanderzusetzen.

1. In den Endorganen der Sehnervenfasern sind dreierlei Arten photochemisch zersetzbarer Substanzen abgelagert, welche für verschiedene Theile des Spectrum verschiedene Empfindlichkeit haben. Die drei Farbenwerthe der Spectralfarben hängen wesentlich von der photochemischen Reaction dieser drei Substanzen gegen das Licht ab. In den Augen der Vögel und Reptilien kommen neben farblosen

Zapfen in der That noch Stäbchen mit rothen, und solche mit gelbgrünen Öl-tröpfchen vor, die eine Begünstigung einzelner einfacher Lichter in der Wirkung auf das hintere Glied dieser Gebilde bewirken könnten. Bei den Säugethieren und dem Menschen ist bisher nichts Ähnliches gefunden worden.

2. Durch die Zersetzung jeder der lichtempfindlichen Substanzen wird die damit beladene Nervenfaser in den Zustand von Erregung versetzt. Es giebt nu eine Art von empfindungserregender Thätigkeit in jeder Nervenfaser, die mit Zer-setzung der organischen Substanz und Wärmeentwicklung einhergeht, wie wir sie vo den Muskelnerven her kennen. Diese Vorgänge in den drei Fasersystemen sin wahrscheinlich auch unter einander durchaus gleichartig. Sie wirken im Hirn nu dadurch verschieden, dafs sie mit verschieden functionirenden Hirntheilen verbunde sind. Die Nervenfasern brauchen hier wie überhaupt nur die Rolle von Telegraphen drähten zu spielen, durch welche durchaus gleichartige electrische Ströme fliefsen in den damit verbundenen Endapparaten die verschiedensten Thätigkeiten auslöse oder hervorrufen können. Diese Erregungen der drei Fasersysteme bilden die obe gesonderten drei Elementarerregungen, vorausgesetzt, dafs die Erregungsstärke für welche wir noch kein allgemeingültiges Maafs haben, dabei der Lichtstärk proportional gesetzt wird. Das hindert nicht, dafs diese Intensität der Elementa erregung irgend welche verwickelte Function des Stoffverbrauchs oder der negative Stromesschwankung im Nerven sein könnte, welche letzteren Vorgänge etwa auc als Maafs der Erregung gelegentlich verwendet werden könnten.

3. Im Hirn stehen die drei Fasersysteme mit drei verschieden functionirende Systemen von Ganglienzellen in Verbindung, die vielleicht räumlich so aneinande gelagert sind, dafs die denselben Netzhautstellen entsprechenden dicht zusammen liegen. Das scheint aus den neueren Untersuchungen über den Einflufs von Hirn verletzungen auf das Gesichtsfeld hervorzugehen.

Die neuere von Herrn E. HERING aufgestellte Modification der YOUNG'sche Hypothese, in der Gegensatz positiver und negativer Nerventhätigkeiten angenomme wird, soll weiter unten besprochen werden.

305 Methoden zur Mischung farbigen Lichts. Um das farbige Licht der Pigmen und anderer Naturkörper zu mischen, ist das einfachste Verfahren folgendes. In einige Entfernung (30—40 cm) über einer schwarzen Tischplatte bringt man eine kleine vertic gestellte Glasplatte a (*Fig. 141*) mit ebenen un parallelen Flächen an, deren Ebene verlängert d Tischplatte in d schneiden möge. Indem das Aug des Beobachters schräg abwärts nach der Gla platte a hinblickt, sieht er mittels des von d Platte durchgelassenen Lichtes den Theil c des Tisches, mittels des reflectirten Licht dagegen den Theil dc scheinbar mit db z sammenfallend. Legt man in gleicher En fernung von d in c und in b gefärbte Oblat oder andere gefärbte Flächen hin, so erblic der Beobachter das Spiegelbild von c mit zusammenfallend. Das farbige Licht von schlägt an der Vorderseite der Glasfläche genau denselben Weg ein, auf welchem d farbige Licht von b fortgeht, und beide Lichter fallen also gemischt in das Auge o, d von ihm gesehene gemeinsame Bild von b und c mufs also in der Mischfarbe erscheine

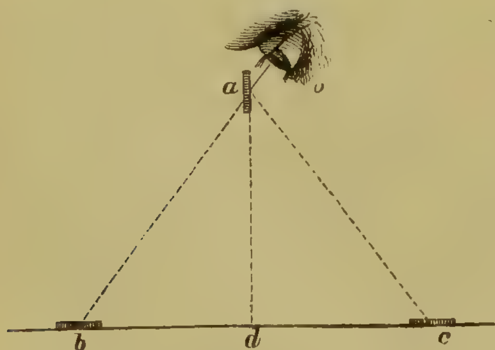


Fig. 141.

Das Intensitätsverhältnifs regulirt man durch Verschiebung der beiden Oblaten. Je näher sie an d liegen, desto stärker ist das reflectirte Licht von c, desto schwächer das durchgelassene von b.

Man kann auf diese Weise auch Licht, welches durch farbige Gläser oder Flüssigkeiten gegangen ist, zur Mischung anwenden. Dazu macht man in der Platte bc Öffnungen, durch welche das Licht gelangt. So kann man auch das durch einen Spiegel reflectirte Licht des blauen Himmels mit dem von Chromgelb mischen und sich überzeugen, dafs beide, wie Ultramarin und Chromgelb, ein röthliches Weifs geben, dafs das Himmelblau also weifsliches Indigblau ist, nicht aber dem weniger brechbaren Blau des Spectrum entspricht, welches wir Cyanblau genannt haben. Diese Methode hat vor den Mischungen auf dem Farbenkreisel den Vorzug, dafs die weifslichen Mischungen nicht grau, sondern weifs erscheinen. 306

Die Einrichtung der Farbenkreisel wird in § 22 näher beschrieben werden.

Von andern Methoden, farbiges Licht zusammenzusetzen, ist noch zu erwähnen ein Versuch von VOLKMANN, der durch gefärbte Gewebe, die er dicht vor das Auge hielt, nach farbigen Flächen hinsah. Die Mischung beider Farben wird aber nicht recht gleichmäfsig, und es kann auch die Durchsichtigkeit der Fäden stören, indem die Fäden theilweise wie ein farbiges Glas wirken, durch welches man eine farbige Fläche sieht. CZERMAK hat den SCHEINER'schen Versuch benutzt, indem er durch einen Schirm mit zwei engen Öffnungen sah, welche mit verschiedenfarbigen Gläsern bedeckt waren. Soweit die Objecte einfach erscheinen, erscheinen sie auch in der Mischfarbe. HOLTZMANN läfst das diffus reflectirte Licht zweier farbigen Papiere auf weifses Papier fallen. CHALLIS erwähnt Versuche, wie sie übrigens schon MILE angestellt hatte, bei denen Papiere, die mit Streifen verschiedener Farben versehen waren, aus solcher Entfernung betrachtet wurden, dafs die Streifen einzeln nicht mehr erkannt werden konnten. Endlich hat DOVE Methoden beschrieben, um Interferenz- und Absorptionsfarben zu mischen. Er benutzt dazu Spiegel, die aus farbigen Gläsern mit Silber belegt gebildet sind. Die vordere Fläche solcher Spiegel giebt polarisirtes weifses Licht, die hintere unpolarisirtes durch Absorption gefärbtes. Geht nun das so gemischte Licht durch eine Glimmerplatte und ein NICOL'sches Prisma, so bleibt das letztere Licht unverändert. Das polarisirte Licht dagegen wird durch die Interferenz des ordentlichen und aufserordentlichen Strahls im Krystall so gefärbt, dafs seine Farbe einer der Farbenstufen von NEWTON's Ringsystemen entspricht. Beide Arten von Licht fallen vermischt in das Auge des Beobachters.

Eine verhältnifsmäfsig günstige und auch leicht auszuführende Methode für die Mischung des Lichts zweier neben einander liegender farbiger Felder besteht darin, dafs man diese Grenze durch ein achromatisirtes doppeltbrechendes Prisma von Kalkspath oder Bergkrystall betrachtet, so dafs die Grenzlinie in Doppelbildern auseinander geschoben wird. Zwischen den beiden Bildern der Grenze sieht man dann die Ränder beider Felder übereinandergeschoben, und die beiden Farben durch Überdeckung vereinigt. Seitlich dagegen bleiben die Farben der beiden Felder ungemischt stehen. n

Für die Prüfung von GRASSMANN's Satz, dafs gleichaussehende Farben gemischt, wiederum gleichaussehende Mischungen geben, lassen sich nach einem Vorschlag von E. HERING sowohl die spiegelnde Glasplatte, wie das Kalkspathprisma sehr leicht in der Weise anwenden, dafs man mit ihrer Hülfe irgend welches andre farbige Licht über die Grenze zweier Felder der rotirenden Farbenscheiben ausbreitet, die gleich aussehen, aber verschieden zusammengesetzt sind. Die Verschiedenheit wird durch die Deckung mit andrem Licht nicht sichtbar.

Die einfachste unter den Methoden, um prismatische einfache Farben zu mischen, und gleichzeitig alle Combinationen aus je zwei solchen zu erhalten, ist die, dafs man in einem dunklen Schirme einen Vförmigen Spalt anbringt, dessen beide Schenkel wie ab und bc in *Fig. 142* unter 45° gegen den Horizont geneigt sind, und diesen Spalt, der vor einen hellen Hintergrund gestellt ist, durch ein Prisma mit senkrecht stehender 303

brechender Kante betrachtet. Die Spectra haben dann die Form wie in *Fig. 143*, wo $\alpha\beta\beta_{,}\alpha_{,}$ das Spectrum des Schenkels ab und $\gamma\beta\beta_{,}\gamma_{,}$ das Spectrum von bc ist. In den ersteren laufen die Farbenstreifen parallel ab und $\alpha\beta$, im zweiten parallel bc und $\beta\gamma$ wie die gestrichelten Linien. In dem mittleren dreieckigen Felde $\beta\delta\beta_{,}$, welches beiden Spectren gemeinsam ist, schneiden alle Farbenstreifen des einen Spectrum alle Farben-

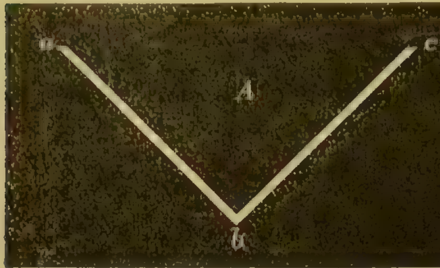


Fig. 142.



Fig. 143.

streifen des andern, und es entstehen dadurch an diesen Stellen alle aus je zwei einfachen Farben gebildeten Mischfarben. Wenn die Breite der Spalten unveränderlich ist, so kann doch das Verhältnifs der Quantitäten des gemischten Lichtes dadurch geändert werden, dafs man das Prisma aus der senkrechten Stellung in eine geneigte bringt, wodurch die Spectra die Form wie *Fig. 144* annehmen und das eine $\beta\gamma\beta_{,}\gamma_{,}$, in welchem dieselbe Lichtmenge auf einen kleineren Raum vertheilt wird, heller wird, während das andere $\alpha\beta\beta_{,}\alpha_{,}$, dessen Flächenraum vergröfsert ist, an Helligkeit verliert.

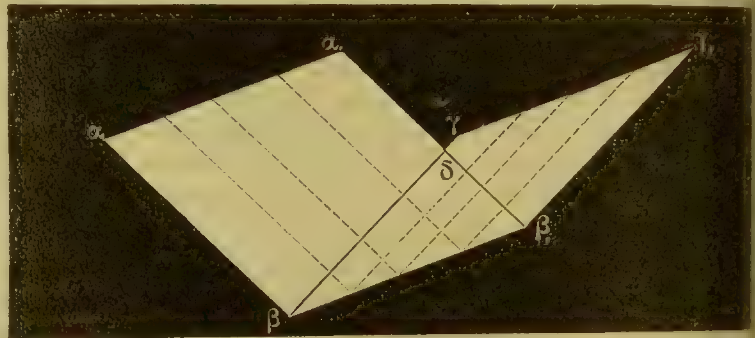


Fig. 144.

Man kann durch diese Methode die meisten der oben angeführten Resultate gewinnen. Eine genaue Beurtheilung der Mischfarben, namentlich der weifslicheren, ist aber erstens dadurch erschwert, dafs die einzelnen Farben einen zu kleinen Raum einnehmen, selbst wenn man die Beobachtung mit einem Fernrohr ausführt, zweitens dadurch, dafs man im Gesichtsfelde eine Menge anderer glänzender Farben daneben hat, welche durch Contrastwirkungen das Ansehen der minder gesättigten Farben stark verändern.

Diese Übelstände sind bei einer zweiten Methode vermieden; für diese wird ein complicirterer Apparat gebraucht, von dem *Fig. 145* eine horizontale Projection dar-

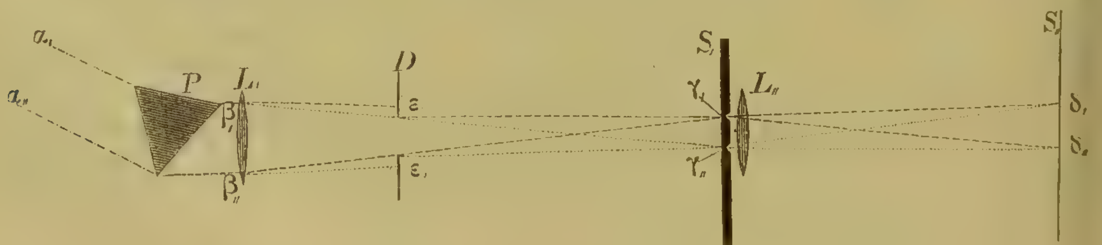


Fig. 145.

stellt. Man läfst Sonnenlicht, welches von einem Heliostaten reflectirt ist, durch einen
304 verticalen Spalt in ein dunkles Zimmer fallen, läfst es durch ein Prisma P *Fig. 145* und eine achromatische Linse $L_{,}$ gehen, in deren Brennpunkt ein Schirm $S_{,}$ steht, auf dessen

›rderer Fläche ein objectives Spectrum entworfen wird. Zwischen Linse und Schirm efindet sich ein Diaphragma D mit rechteckigem Ausschnitt. Der Schirm $S_,$ hat zwei erticale Spalten bei $\gamma_,$ und $\gamma_{,,}$, welche von dem Lichte, das hier zu dem Spectrum ereinigt ist, zwei Farbenstreifen durchgehen lassen, während alles andere farbige Licht on dem Schirme zurückgehalten wird. Hinter diesem Schirme ist eine zweite achroma-ische Linse $L_{,,}$ von kürzerer Brennweite angebracht, welche auf dem zweiten Schirme $S_{,,}$ in Bild $\delta_,$, $\delta_{,,}$ des Diaphragma D entwirft. Die Breite des einfallenden weifsen Strahlen-ündels ist $\alpha_, \alpha_{,,}$; hinter der Linse $L_,$ sind die Grenzstrahlen der beiden verschieden-ırbigen Strahlenbündel, deren Brennpunkte mit den beiden Spalten $\gamma_,$ und $\gamma_{,,}$ zusam-ıenfallen, dadurch unterschieden, dafs ie brechbareren gestrichelt, die weniger rechbaren punktirt sind. Die Öffnung es Diaphragma D mufs so eng gemacht erden, dafs sie ganz von Strahlen beider ündel ausgefüllt ist, so dafs von jedem unkte der Öffnung Strahlen der betref-enden Farbe auf jeden Punkt der palten $\gamma_,$, $\gamma_{,,}$ fallen. Macht man die ordere Seite des Diaphragma weifs, so eht man darauf das Strahlenbündel als eifsen Fleck mit farbigen Rändern sich rojiciren (bei $\varepsilon_,$ blau, bei $\varepsilon_{,,}$ roth). Um ie genannte Bedingung zu erfüllen, ıufs die Öffnung ganz in der weifsen litte der beleuchteten Stelle liegen. nter diesen Umständen ist die Öffnung es Diaphragma gleichsam das leuch-ende Object, von welchem zweierlei icht durch die Spalten des Schirms $S_,$ uf die Linse $L_{,,}$ fällt. In dem Bilde $\delta_{,,}$, welches die Linse von dem Dia-ıragma D entwirft, ist beiderlei Art icht über dieselbe gleichmäfsig ausge-eitet, und diese Fläche erscheint daher der Mischfarbe, oder wenn man eine r Spalten verdeckt, in einer der ein-chen Farben.

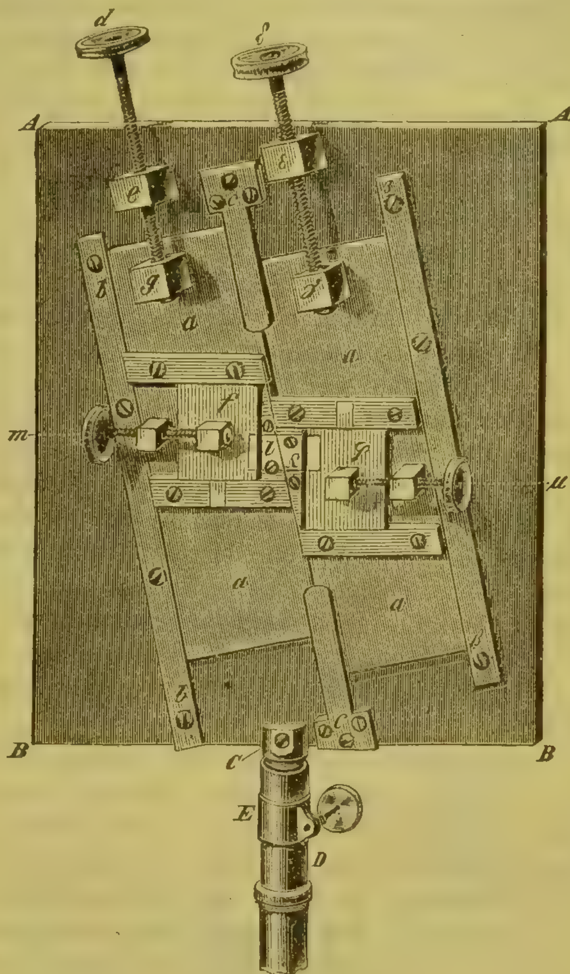


Fig. 146.

Um den Farbenton und die Inten-ät der gemischten Lichter nach Be-ben und sehr allmälig ändern zu nnen, ist eine besondere Construction s Schirms $S_,$ nöthig, und ist derselbe in *Fig. 146* abgebildet. Der Schirm besteht aus r viereckigen Messingplatte $AABB$, die bei C durch einen cylindrischen Stab getragen rd. Letzterer verschiebt sich in einer gespaltenen cylindrischen Hülse D, die in der itte eines mit drei Stellschrauben versehenen Brettes befestigt ist. Der Schirm kann o mit seinem Träger C auf und nieder geschoben, und in jeder Höhe mittels des spaltenen und durch eine Schraube zusammengezogenen Ringes E festgestellt werden.

Auf der Messingplatte $AABB$ sind in schräger Richtung zwei Schlitten beweglich, ren Grundlagen die Messingplatten aa und $\alpha\alpha$ sind. Mit bb, $\beta\beta$, c und c sind die hienen bezeichnet, zwischen denen sich die Platten verschieben. Diese Platten werden rch die Schrauben d und δ bewegt, deren Mütter in die an der grofsen Platte $AABB$ festigten Messingklötze e und ε eingeschnitten sind, und deren Enden drehbar in den ötzen g und γ befestigt sind, welche von den beweglichen Platten getragen werden.

Durch Drehung der Schrauben *d* und *δ* verschiebt man also die Platten *aa* und *αα* parallel den Schienen, zwischen denen sie als Schlitten gehen.

Auf der beweglichen Platte *aa* ist nun wieder als Schlitten beweglich die Platte *f* zwischen horizontalen Schienen angebracht, und durch die Schraube *m* zu verstellen. Ebenso auf der Platte *αα* die Platte *φ* mit der Stellschraube *μ*. Zwischen den einander zugekehrten Rändern der Platten *f* und *φ* liegen noch die beiden dreieckigen ebenso dicken Platten *l* und *λ*, jene auf *aa*, letztere auf *αα* befestigt. Die einander zugekehrten und zugeschärften Ränder von *f* und *l*, sowie von *φ* und *λ* bilden zwei Paare GRAVESANDE'scher Schneiden.

Dahinter befindet sich in der grofsen Platte *AABB* ein entsprechender Ausschnitt, um das Licht, welches durch die beiden Spalten gegangen ist, weiter hindurchzulassen. Die vorderen Flächen von *f*, *l*, *φ* und *λ* sind matt versilbert, um das Spectrum darauf gut projiciren zu können. Der Ort des Spectrum ist durch das kleine punktirte Rechteck angedeutet.

Verschiebt man mittels der Schrauben *d* und *δ* die Platten *aa* und *αα*, so treten die Spalten unter einen andern Ort des Spectrum, und es gehen andere Farbentöne durch sie hindurch. Durch die Schrauben *m* und *μ* dagegen ändert man die Breite der Spalten und damit auch die Menge des durchgelassenen Lichtes.

Es kommt darauf an, dafs der Vereinigungspunkt gleichfarbiger Strahlen, welche durch die Linse $L_,$ gegangen sind, genau auf der Ebene des Schirmes $S_,$ liegt, sonst
305 zeigt das Farbenfeld auf $S_{,,}$ von rechts nach links verschiedene Farbentöne. Die Spalten müssen den dunklen Linien des Spectrum parallel sein, was durch die Stellschrauben am Fufse des Schirms $S_,$ bewirkt werden kann. Auch müssen alle Unreinigkeiten an der Linse und Prisma, welche gefärbte Flecke in dem Farbenfelde geben würden, sorgfältig entfernt werden. Zwischen den beiden einzelnen Linsen der achromatischen Doppellinse $L_,$ bilden sich leicht NEWTON'sche Ringe, die im Farbenfelde abgebildet werden. Diese entfernt man, indem man Canadabalsam zwischen die Linsen bringt. Je weiter man übrigens das Diaphragma *D* von der Linse $L_,$ entfernt, desto verwaschener ist das Bild solcher Flecken in den Gläsern, und desto weniger stören sie. Es ist deshalb die hier abgebildete Anordnung des Apparats besser, als die früher von mir beschriebene.

Bei dieser Methode hat das farbige Feld eine gröfsere Ausdehnung als bei de ersten, und alle anderen Farben, welche durch Contrastwirkungen stören könnten, sin entfernt. Doch bleiben noch in vielen Fällen manche Hindernisse bestehen, die ein ruhige und sichere Beurtheilung der Mischfarbe erschweren. Es macht sich erstens di Farbenzerstreuung im Auge bei Zusammensetzungen nur zweier einfacher Farben vo sehr verschiedener Brechbarkeit viel bemerkbarer als bei weifsem Lichte (s. oben S. 159 Der Rand des Farbenfeldes färbt sich deshalb leicht mit einer von beiden Farben, währen in der Mitte die andere überwiegt. Dann ist das Auge bei einigen weifsen Mischfarbe namentlich bei dem aus Roth und Grünblau zusammengesetzten Weifs, aufserordentlic empfindlich gegen die kleinsten Einmischungen einer der ursprünglichen Farben, so da die kleinsten Ungleichmäfsigkeiten des Apparats und etwa vorhandene Nachbilder i Auge, namentlich bei gröfserer Lichtstärke, sehr stören. Endlich sind hierbei auch d Verschiedenheiten des Eindrucks zwischen Mitte und Randtheilen der Netzhaut sehr au fallend. Verhältnifsmäfsig am leichtesten ist es, Weifs aus Gelb und Indigo zusamme zusetzen, schwerer aus Gelbgrün und Violet oder Goldgelb und Wasserblau, am schw sten aus Roth und Grünblau. Letzteres erscheint in geringer Entfernung vom Fixatio punkte blau, wenn es auf diesem weifs ist.

Die Wellenlängen der complementären einfachen Farben habe ich in der Wei bestimmt, dafs ich die Linse $L_{,,}$ und den Schirm $S_{,,}$ entfernte und aus einiger E fernung die Spalten des Schirms $S_,$ durch ein Fernrohr betrachtete, vor dessen Objec eine Glasplatte mit feinen äquidistanten verticalen Linien angebracht war. Man sie dann Diffractionsspectra der Spalten, deren scheinbare Entfernung von dem betreffend

Spalte der Wellenlänge proportional ist. Man braucht also nur in derselben Weise die Entfernung der Diffractionsspectra für eine der dunklen Linien des Spectrums zu messen, deren Wellenlänge FRAUNHOFER bestimmt hat, so ergeben sich daraus leicht die Wellenlängen der beobachteten gemischten Farben.

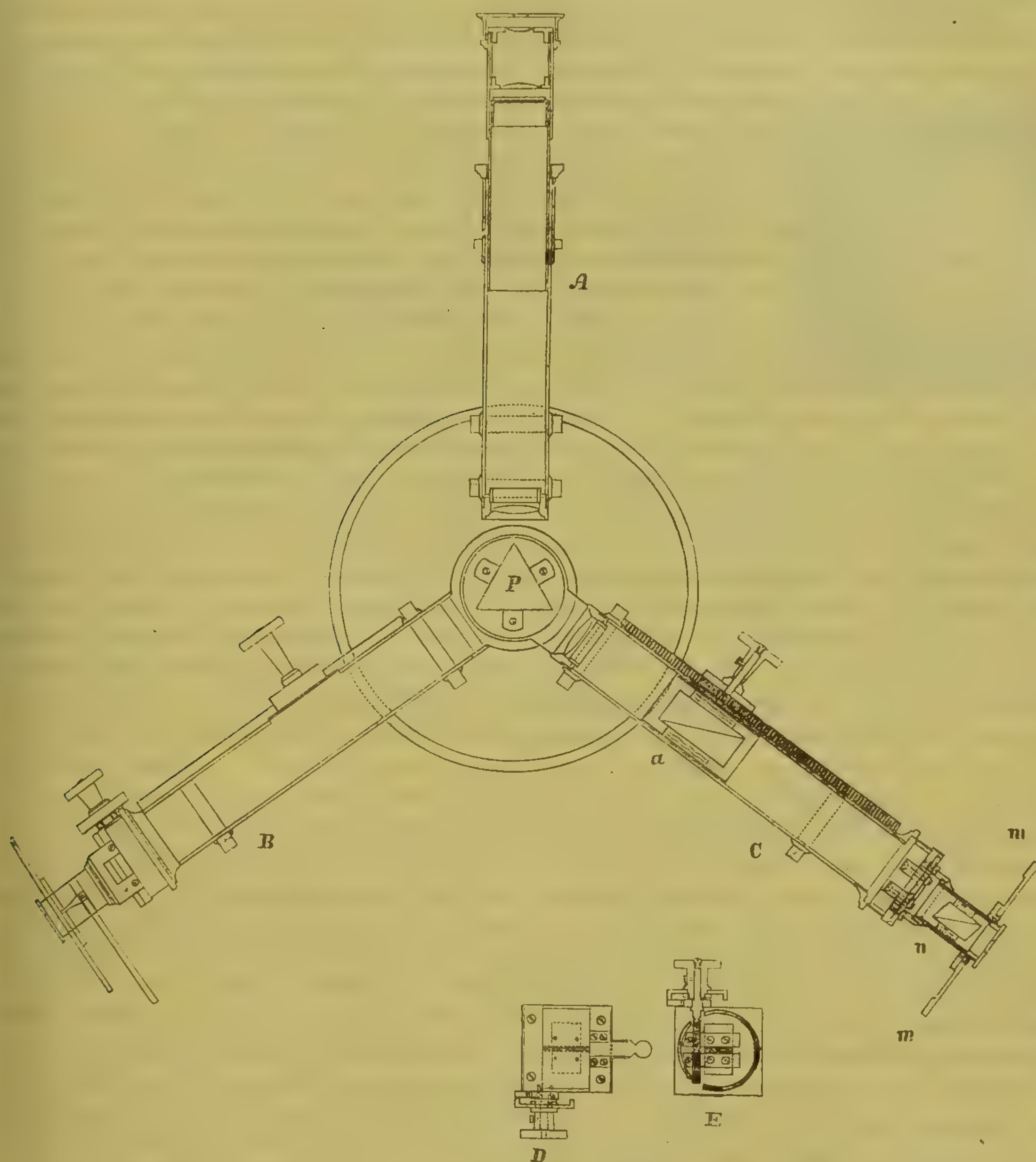


Fig. 147.

Spectrophotometer für Farbenmischung. Zu Messungen geeigneter ist eine Abänderung der Methode, bei welcher die Mischfarben nicht objectiv projicirt werden, sondern als potentielle Bilder im Sehfelde erscheinen. Sie beruht darauf, dafs, wenn man ein Bild des Spectrum auf einen Schirm, der einen Spalt hat, entwirft, so dafs ein sehr schmaler Streifen des Spectrum scharf abgebildet auf und durch den Spalt fällt, ein durch diesen Spalt blickendes Auge von allen Theilen der Prismenfläche nur Licht dieser Farbe kommen sieht, so dafs die ganze Fläche des Prisma als ein gleichmäfsiges Feld einer Farbe erscheint. Diese Methode, auf eine einzelne Farbe angewendet, ist schon auf S. 301 besprochen, und dort sind auch die Vorsichtsmafsregeln angegeben,

die zu beachten sind, um reine und gleichmäſsige Felder zu erhalten. Zur Farbenmischung wurde sie zuerst von MAXWELL verwendet. Ich beschreibe hier eine von mir construirte Form des Apparats,[1] die sich bei den Messungen der Herren R. SCHELSKE, A. KÖNIG und C. DIETERICI als zweckmäſsig bewährt hat. Derselbe ist in horizontalem Schnitt in *Fig. 147* abgebildet.

Darin ist *P* ein groſses gleichseitiges Prisma, welches auf dem centralen schweren Fuſse des Instruments unverrückbar befestigt ist. *B* und *C* sind zwei um eine unter *P* liegende senkrechte Axe drehbare Collimatoren, aus denen das zu mischende Licht zunächst auf die in der Zeichnung nach unten sehende horizontale Fläche des Prisma *P* fällt, um von diesem nach oben in das Fernrohr *A* hinein gebrochen zu werden. Dabei tritt das aus *B* kommende Licht durch die rechte obere Fläche des Prisma, das von *C* kommende durch die linke, und der Beobachter, dessen Auge sich bei *A* befindet, sieht also das aus dem rechten Fernrohre herrührende Licht durch die linke Seite des Prisma auftauchen, und umgekehrt. Für die Beobachtungen der Farbengemische wird das Ocular des Fernrohrs entfernt; statt dessen bleibt nur ein rechteckiger schmaler Spalt an der Stelle des Brennpunkts des Objectivs stehen, dessen Breite durch Schrauben verändert werden kann. Zwei andere feinere Spalten, deren Breite an dem Kopf der sie verengernden und erweiternden Mikrometerschraube abgelesen werden kann, befinden sich an den Enden der Rohre *B* und *C*. Bei den Verengerungen und Erweiterungen dieser drei Spalten kommt es darauf an, daſs deren Mittellinie festgehalten werde, damit sich nur die Helligkeit, aber nicht die Farbe des Bildes ändere, und deshalb werden ihre beiden Schneiden durch Drehung derselben Schraube gleich viel in entgegengesetzter Richtung bewegt[2]. In *Fig. 147 D* und *E* sind die Einrichtungen dieser Spalte skizzirt. Um nun aus jedem der beiden Collimatoren *B* und *C* je zwei Farben zur Vereinigung zu bringen, befindet sich im Innern beider Röhren ein doppeltbrechendes Prisma von Kalkspath *a* der Figur, welches mit einem Glasprisma so verbunden ist, daſs die mittlere Richtung, in der man die beiden Bilder sieht, nicht abgelenkt wird. Die Strahlen, welche durch diese Prismen hindurchgegangen sind, verhalten sich bei ihren weiteren Brechungen, als kämen sie von zwei getrennten Bildern jedes Spaltes her, die um so weiter auseinanderliegen, je entfernter das Prisma vom Spalte ist Jeder der beiden Doppelspathe kann mittels eines Triebs, der in eine Zahnstange eingreift, hin und her geschoben werden. Zu dem Ende sind die beiden Röhren *B* und *C* seitlich aufgeschnitten, so daſs das Prisma *a* mit seinem Trieb frei hin und hergleiten kann. Die beiden Strahlenbündel aber, welche diesen beiden Bildern entsprechen, sind rechtwinkelig zu einander polarisirt. Setzt man also vor jeden Spalt noch ein NICOL'sches Prisma *n*, welches drehbar ist, so kann man das Verhältniſs der Intensitäten beider Lichtbündel beliebig ändern, oder sogar eines der Bilder ganz auslöschen, wobei das andre seine gröſste Intensität erhält. Die Gröſse der Drehung wird mittels zweier getheilter Kreise *mm* gemessen, welche an den Röhrenstücken befestigt sind, die die Nicols enthalten.

Das Prisma *P* entwickelt nun jedes der beiden Spaltbilder in ein Spectrum. Die beiden Spectren sind aber, entsprechend der scheinbaren Distanz der beiden Spaltbilder, mehr oder weniger gegen einander verschoben, so daſs verschiedene Farbenpaare darin zur Deckung kommen. Die Objectivlinse des Fernrohrs *A* entwirft endlich ein objectives Bild dieser beiden Spectrenpaare in der Ebene des Spaltes, der in ihrem Brennpunkte steht, und es geht also von jeder Seite des Prismas her Licht der beiden Farben durch diesen Querspalt, deren Strahlen in dem Spalt vereinigt werden. Man sieht also schlieſslich, durch diesen Spalt nach dem Prisma hinblickend, ein Feld von der Form *Fig. 148*. Die feine mittlere Trennungslinie entspricht der vorderen Kante des Prisma *P*, die kreisförmige seitliche Umgrenzung dem Umfange der Objectivlinse von *A*, die kleinen Bogenstücke den Grenzen der Objectivlinse von *B* und *C*. Man kann nunmehr die Färbung und

---

[1] Beschreibung desselben im *Bericht über die wissenschaftlichen Instrumente auf der Berliner Gewerbe Ausstellung im Jahre 1879.* Berlin. 1880, S. 520 und von R. SCHELSKE, *Wiedemann's Annalen* Bd. 16, S. 349. 1882

[2] Diese Einrichtung ist durch Herrn A. KÖNIG getroffen.

Helligkeit der beiden Felder vergleichen und sie gleich zu machen suchen, wenn sie es noch nicht sind, und so eine Farbengleichung herstellen.

In jeder der Mischfarben kann man durch Drehung des entsprechenden Rohres *B* oder *C* beide Farben gleichzeitig dem Roth oder dem Violet nähern; dagegen durch Vorwärtsschiebung des Doppelspaths *a* die eine gegen das Roth, die andre zum Violett wandern machen. Die Intensität der Componenten ändert man in genau mefsbarer Weise durch Drehen des Nicols *n*, das Helligkeitsverhältnifs beider Paare dagegen durch Änderungen der Spaltbreite am Ende von *B* oder *C*.

Um die Wellenlängen zu bestimmen, wurde die Ocularlinse von *A* eingesetzt. Dann sieht man bei Anwendung von Sonnenlicht im Ocularspalte die FRAUNHOFER'schen Linien der vier Spectra erscheinen, die man auch einzeln abblenden kann. Da die Wellenlängen auch der feineren Linien genau bekannt sind, so kann man in dieser Weise bestimmen, welche Wellenlänge den vier mittleren Farben des Spaltes zukommt.



Fig. 148

Die gemessenen Intensitätsverhältnisse beziehen sich zunächst auf die Helligkeiten, mit denen die entsprechenden Farben in dem prismatischen Spectrum der angewendeten Lichtquelle erscheinen. Es waren dies bei den Versuchen der Herren A. KÖNIG und C. DIETERICI Gasflammen, für deren Constanz möglichst gesorgt wurde. Es wurden schliefslich noch die Werthe der Helligkeiten der einzelnen Farbenstreifen dieses Lichts in diejenigen des Interferenzspectrum des Sonnenlichts umgerechnet. Die Reductionscoefficienten für die Umrechnung auf das Interferenzspectrum wurden aus den Brechungs-Indices des benutzten Prisma berechnet, hingegen die Coefficienten für die Umrechnung auf das Sonnenlicht durch besondere photometrische Messung gewonnen.[1] Unter Sonnenlicht ist hier immer das Licht verstanden, welches eine mit Magnesiumoxyd überzogene Fläche, die bei unbewölktem Himmel von directen Sonnenstrahlen getroffen wird, diffus reflectirt. Betreffs der Einzelheiten in der praktischen Ausführung der Versuche mufs hier auf die Publicationen der Autoren verwiesen werden.

Die Ergebnisse der messenden Farbenmischungsversuche für die individuellen Unterschiede menschlicher Augen. Die grofse Mehrzahl menschlicher Augen gehört betreffs ihres Farbensinns einer und derselben Klasse an; da ihr Farbensystem die Annahme von drei Grundfarben erfordert, so nennen wir die Augen dieser Klasse normale trichromatische Augen. Die Herren A. KÖNIG und C. DIETERICI, welche Augen dieser Art besitzen, haben sehr ausgedehnte Messungsreihen mit dem eben beschriebenen Apparate zur Mischung von Spectralfarben ausgeführt, aus denen sie schliefslich die Form ihrer Empfindlichkeitscurven für drei Elementarempfindungen berechnet haben. Sie haben dabei zunächst äufserstes Roth und äufserstes Violet als diejenigen zwei Elementarempfindungen angenommen, welche in den Endstrecken des Spectrum allein erregt werden. Als Endstrecken sind, wie oben schon bemerkt, diejenigen angesehen, deren einzelne Farbenbänder sich nur durch ihre Helligkeit, nicht durch den Farbenton unterscheiden, nämlich Roth mit Wellenlängen gröfser als 655 $\mu\mu$ und Violet mit solchen, kleiner als 430 $\mu\mu$. Die Zwischenstrecken (Orange

[1] Vergleiche A. KÖNIG. *Verhandl. d. Physik. Ges. in Berlin* vom 22. Mai 1885 und 19. März 1886. — *Graefe's Archiv* Bd. 30(2) S. 162. 1884. und *Wied. Annalen.* Bd. 22. S. 572. 1884.

von 655 $\mu\mu$ bis 630 $\mu\mu$, und Blau von 475 bis 430 $\mu\mu$), sind angesehen als Mischungen aus einer dritten grünen Elementarfarbe mit Roth einerseits, und Violet andrerseits, so dafs diese Strecken noch in die Seiten des Dreiecks hineinfallen, welches die drei Elementarfarben als Ecken hat. Dadurch wäre theoretisch, unbedingte Genauigkeit der Messungen vorausgesetzt, die Art der dritten Elementarfarbe fest bestimmt. In Wirklichkeit war der Weg ihrer Bestimmung langwieriger und nicht so direct, weil nicht alle Mischungen gleich gut zu brauchen waren. In sehr weifslichen Mischungen entfernter Farben verschwinden leicht die Unterschiede des Farbentons, und bei Mischung zu nahe benachbarter Farben bringen kleine Fehler der Beobachtung grofse Unterschiede in den Rechnungsresultaten hervor. Schliefslich wurde, um das Verhältnifs der Intensität der verschiedenen Grundempfindungen festzustellen, angenommen, dafs die drei Helligkeiten derselben, die im Weifs vereinigt sind, gleich grofs seien. Das Farbendreieck wird also unter dieser Annahme ein gleichseitiges Dreieck, in dessen Mittelpunkt das Weifs gelagert ist.

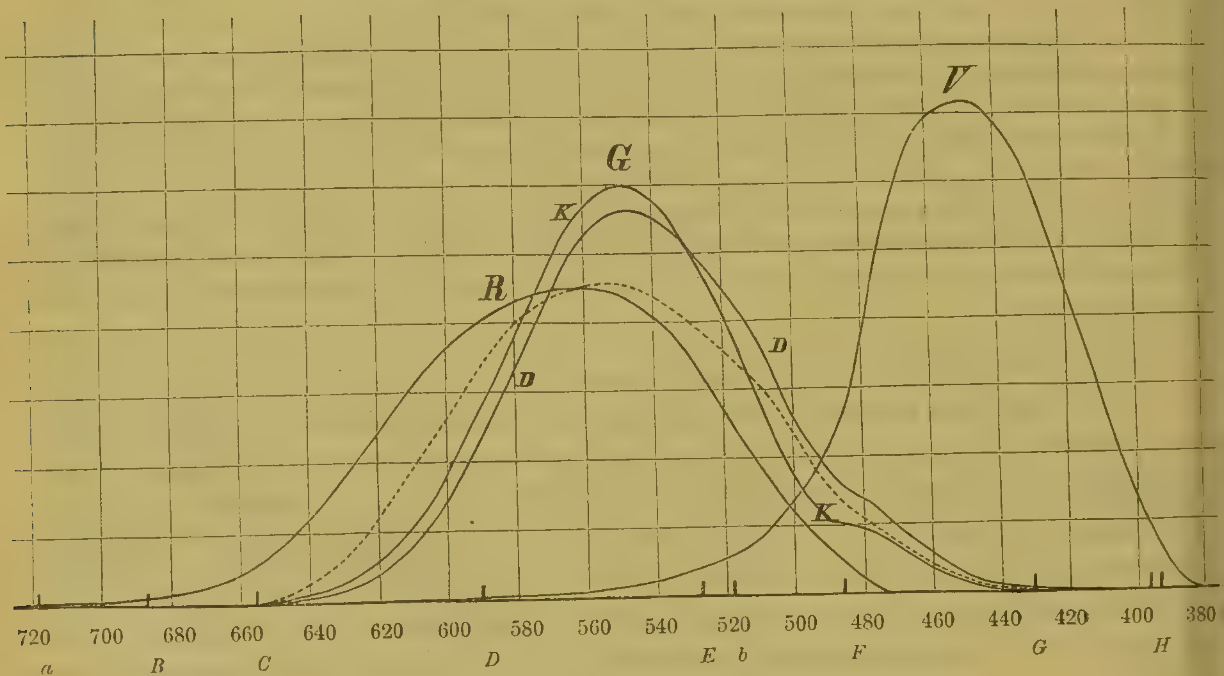


Fig. 149.

Die Endergebnisse, welche die beiden genannten Beobachter unte[r] solchen Annahmen aus ihren Messungen berechnet haben, sind in *Fig. 14[9]* graphisch dargestellt. Die Abscissenlinie entspricht den Wellenlängen, di[e] unten in Milliontelmillimetern angegeben sind, während darunter FRAUNHOFER' Linien durch ihre Buchstaben angezeigt sind. Die Curven *R* für das Gewich[t] der Rothempfindung und für das der Violetempfindung waren bei den beide[n] genannten Beobachtern hinreichend nahe übereinstimmend, dafs sie in [e]ine Curve vereinigt werden konnten. In der Curve für Grün sind di[e] Abweichungen etwas gröfser, deshalb sind die beiden Curven (*K* für Herr[n]

A. König, *D* für Herrn C. Dieterici) getrennt gezeichnet. Die Höcker am violeten Ende der Grüncurve könnten von der Absorption durch das gelbe Pigment der Netzhautgrube herrühren, welche sich vorzugsweise in der Fraunhofer'schen Linie *F* geltend macht. Die entsprechende Ausbuchtung in der Violetcurve ist nicht deutlich, da deren Führung überhaupt in ihren Anfängen, wo sie von andrem starken Lichte überstrahlt wird, verhältnifsmäfsig unsicher bleibt.

Die punktirte Curve entspricht einer zweiten selteneren Abart der trichromatischen Augen, deren Vorkommen schon von Lord Rayleigh[1] und Herrn Donders[2] nachgewiesen war. Die Grüncurve nähert sich bei ihnen beträchtlich der Rothcurve, namentlich in ihrem vorderen Theile. Die Abweichung zwischen beiden Arten trichromatischer Augen zeigt sich deutlich, wenn man von ihnen das Verhältnifs bestimmen läfst, in welchem spectrales Roth und Grün (etwa der Lithium- und Thalliumflamme entsprechend) zu Goldgelb (Natriumflamme) verbunden werden. Die normalen Augen nehmen dazu meist mehr als dreimal soviel Grün, als die der Minorität. Die Rothcurve der letzteren zeigte kleine Abweichungen. Hingegen war die Violetcurve innerhalb der Genauigkeit der Beobachtungen mit der normalen übereinstimmend.

Zu bemerken ist, dafs bei den Grundsätzen, die der Construction der *Fig. 149* zu Grunde liegen, die Stelle des Spectrum, wo sich die Roth- und Grüncurve schneiden, complementär sein mufs zum Violet, und die Stelle, wo sich die Grün und die Violetcurven schneiden, complementär sein mufs zum äufsersten Roth. Die entsprechenden Wellenlängen, welche schon aus den S. 318 und 319 gegebenen Tabellen hervorgehen, ergaben sich für beide Beobachter in gleichem Werthe auch aus den Curven, worin eine Controlle für die Richtigkeit ihres Verfahrens liegt.

Dichromatische Augen. Von grofsem Interesse für die Theorie der *294*
Farbenempfindungen sind die Wahrnehmungen solcher Augen, welche weniger Farben als die gewöhnlichen Augen unterscheiden (Farbenblindheit, *Achromatopsia*, *Achrupsia*). Verhältnifsmäfsig selten sind Augen, denen alle Farbenunterschiede fehlen, Monochromaten; häufiger sind solche, die gewisse Farbenunterschiede gut unterscheiden, andere verwechseln, Dichromaten. Schon A. Seebeck hat nachgewiesen, dafs es zwei Klassen der letzteren giebt. Innerhalb jeder dieser Klassen machen die einzelnen Augen nahehin dieselben Verwechselungen zwischen verschiedenen Farben. Dagegen erkennt jede Klasse die meisten Verwechselungen, welche Individuen der andern Klasse gemacht haben.

Zuerst lernte man überwiegend Fälle von Seebeck's zweiter Klasse kennen, deren Eigenart auch oft nach dem bekannten Chemiker J. Dalton,

---

[1] Rayleigh. *Nature*. Vol. XXV. p. 64. 1881. Gelesen in Section A der British Association Sept. 2. 1881.

[2] F. C. Donders. *Onderzoekingen etc.* 3. Reeks. D. VIII. 170. Auch in *Du Bois Reymond's Archiv für Physiologie*. 1884. S. 518.

der zu ihnen gehörte und zuerst eine genauere Untersuchung dieses Zustandes gab, Daltonismus (*Anerythropsia* nach GOETHE) genannt wird. Da die englischen Naturforscher gegen diese Art, den Namen ihres berühmten Landsmannes durch einen seiner Fehler zu verewigen, Einsprache erheben, wollen wir den Zustand Rothblindheit nennen. Individuen, bei denen dieser Zustand vollständig entwickelt ist, sehen im Spectrum nur zwei Farben, die sie meist Blau und Gelb nennen. Zum letzteren rechnen sie das ganze Roth, Orange, Gelb und Grün. Die grünblauen Töne nennen sie grau, den Rest blau. Das äufserste Roth, wenn es lichtschwach ist, sehen sie gar nicht, wohl aber wenn es intensiv ist. Sie zeigen deshalb die rothe Grenze des Spectrum gewöhnlich an einer Stelle an, wo die normalen Augen noch deutlich schwaches Roth sehen. Unter den Körperfarben verwechseln sie das Roth (d. h. Zinnoberroth und röthlich Orange) mit Braun und Grün, wobei dem normalen Auge im allgemeinen die verwechselten rothen Farbentöne viel heller erscheinen, als die braunen und grünen; Goldgelb unterscheiden sie nicht von Gelb, Rosaroth nicht von Blau. Die Mischungen verschiedener Farben dagegen, welche dem normalen Auge gleich erscheinen erscheinen meist auch den Rothblinden gleich. Schon J. HERSCHEL[1] stellt in Bezug auf DALTON's Fall die Ansicht auf, dafs alle Farben, welche e unterschiede, aus zwei statt aus drei Grundfarben zusammengesetzt gedach werden könnten. Diese Meinung ist später durch MAXWELL mittels seine Methode, die Farbenmischung auf dem Farbenkreisel zur Messung zu benutzen geprüft und bestätigt worden. Für das gesunde Auge läfst sich, wie wi sahen, zwischen jeder vorkommenden Farbe, drei passend gewählten Grund farben, ferner Weifs und Schwarz eine Farbengleichung herstellen. Bei de Rothblinden braucht man, wovon ich mich selbst überzeugt habe, aufse
295 Weifs und Schwarz nur zwei Farben (z. B. Gelb und Blau), um mit jed anderen Farbe die Farbengleichung auf der rotirenden Scheibe herzustelle Ich benutzte bei meinen Versuchen mit Herrn M., einem jungen Polytech niker, der an physikalische Untersuchungen gewöhnt war, und sich ziemlic empfindlich gegen die Farbenunterschiede zeigte, die für sein Auge noch vo handen waren, als Hauptfarben Chromgelb und Ultramarin.

Mit Roth (etwa dem des Siegellacks) war ihm identisch eine Mischu von 35° Gelb, 325° Schwarz, die für das normale Auge ein dunkles Olive grün gab.

Mit Grün identisch (im Farbenton etwa FRAUNHOFER's Linie *E* entsprechen ergiebt sich aus den Versuchen eine Mischung von 327° Gelb 33° Blau, f das normale Auge Graugelb. Mit Grau identisch 165° Gelb und 19 Blau, für das normale Auge ein schwach röthliches Grau.

Da man nun aus Roth, Gelb, Grün, Blau alle anderen Farbentöne wür mischen können, so ergiebt sich, dafs für Herrn M. alle aus Gelb und Bl gemischt werden könnten.

[1] In einem Briefe, der angeführt ist in G. WILSON, *on Colour Blindness.* Edinbourgh. 1855. p. 60.

Was nun die andere Klasse der Farbenblinden, SEEBECK's erste Klasse, betrifft, so unterscheiden sie sich nach SEEBECK's Angaben von den Rothblinden dadurch, dafs sie leicht und sicher über die Übergänge zwischen Violet und Roth urtheilen, die jenen gleichmäfsig als Blau erscheinen. Dagegen machen sie Verwechselungen zwischen Grün, Gelb, Blau und Roth. Wenn beide Klassen denselben Farbenton mit Grün verwechseln, so wählen die Individuen dieser Klasse ein gelberes Grün als die Rothblinden. Sie zeigen keine Unempfindlichkeit gegen das äufserste Roth, und verlegen die gröfste Helligkeit des Spectrum in das Gelb. Auch sie unterscheiden nur zwei Farbentöne im Spectrum, die sie (wahrscheinlich ziemlich richtig) Blau und Roth nennen. Danach kann man vermuthen, dafs ihr Übel in einer Unempfindlichkeit der grünempfindenden Nerven besteht. 209

Violetblindheit ist bisher sehr selten als dauernder Zustand gefunden 847
worden, doch besitzt man im Santonin ein Mittel, welches einen der Violetblindheit ähnlichen Zustand hervorzuruft. Damit die Wirkung schnell 848
eintrete und nicht zu lange anhalte, nimmt man 10 bis 20 Gran santoninsauren Natrons. Nach 10 bis 15 Minuten fängt die Veränderung an und dauert mehrere Stunden. Uebrigens treten dabei auch Uebelkeiten, grofse Müdigkeit und Gesichtshallucinationen auf, so dafs ein solcher Versuch nicht ohne Beschwerde ist. Durch gröfsere Dosen werden Thiere getödtet. Die der Wirkung des Santonins unterworfenen Personen sehen helle Objecte grüngelb, dunkle Flächen zuweilen mit Violet überzogen; das violette Ende des Spectrum verschwindet. Ihr Farbensystem ist dichromatisch, oder wenigstens annähernd so. Bei den Versuchen von E. ROSE[1] zeigte sich, dafs bei mäfsiger Stärke der Beleuchtung Farbengleichungen mit nur zwei Grundfarben im Santoninrausch hergestellt werden konnten, aber nicht bei gröfserer Lichtstärke. Die hergestellten Farbengleichungen blieben aber nicht längere Zeit constant, sondern der Zustand veränderte sich fortdauernd ziemlich merklich. Es waren gelbe und violette Mischfarben, die für gleich erklärt wurden.

Der Querschnitt der Sehnerven, mit dem Augenspiegel betrachtet, zeigte sich nicht gelbgefärbt, so dafs keine, oder wenigstens keine merkliche gelbe Färbung der Augenflüssigkeiten vorhanden war. Dagegen waren die Blutgefäfse der Netzhaut stark gefüllt.

Auch A. KÖNIG[2] hat Versuche über die Santonwirkung angestellt und n
gefunden, dafs weifse Gegenstände nahehin die Farbe von der Wellenlänge 570—573 $\mu\mu$ zeigen; letztere ist die Complementärfarbe des Violet. Er bestätigt, dafs selbst bei hochgesteigerten Santonwirkungen von einer vollständigen Dichromasie des Auges keine Rede ist. Während das violette Ende des Spectrum verschwand, blieb Grünblau und Blau noch erkennbar. Er findet die Erscheinungen mehr denen der Absorption durch ein grüngelbliches Glas (ein

[1] E. ROSE. *Virchow's Archiv* XVI. 233—253. (1859). — XIX. 522—536. (1860). — XX. 245—290. (1860). XXVIII. (1863) und *Gräfe's Archiv für Ophthalm.* VII. (2) 72—108. (1861).
[2] A. KÖNIG, *Centralblatt für praktische Augenheilkunde* 1888 Decemberheft.

dickes Uranglas) ähnlich, welches das Violet auslöscht, Blau und Blaugrün erheblich schwächt, aber diese Farben doch immerhin deutlich erkennbar läfst. Das Violetsehen auf dunklem Grunde war bei ihm nicht sehr hervortretend. Eine solche Erscheinung der Complementärfarbe auf dunklem Grunde kommt auch sonst vor, wenn man längere Zeit durch starkgefärbte Medien, z. B. ein rothes Glas, gesehen hat. Davon mehr in § 23. W. PREYER[1] sah helles Violet erscheinen, wenn er bei dunkel gehaltenem Auge Santonin nahm; fand dagegen die Auslöschung des spectralen Violet auf den gelben Fleck der Netzhaut beschränkt. A. KÖNIG[2] fand bei einem Kranken, der in einem Skotom der Netzhaut vollkommene Violetblindheit zeigte, den neutralen Punkt im Gelbgrün von 560,4 $\mu\mu$.

295 Farbensystem der Dichromaten. Wenn man GRASMANN's Sätze über Farbenmischung auf ein Auge anwendet, welches die Farbengleichungen des trichromatischen Auges anerkennt, aber Roth mit Grün verwechselt, so folgt, dafs die Farbentöne, welche es überhaupt unterscheidet, alle aus zwei anderen Farben, etwa Gelb und Blau, zu mischen seien. Denn wenn Roth und Grün identisch erscheinen, müssen nach jenen Sätzen auch alle Mischfarben aus Roth und Grün identisch erscheinen. Da gleich aussehende Farben gemischt gleich aussehende Mischfarben geben, mufs ferner jede Mischung einer bestimmten Quantität Gelb mit passenden Quantitäten aller der Mischfarben aus Roth und Grün, die für das farbenblinde Auge gleiches Aussehen haben, für dieses Auge gleich aussehende Mischfarben geben. Eine der Mischfarben aus Roth und Grün ist aber für das gesunde Auge auch durch Gelb und Blau herzustellen, und kann daher für das farbenblinde Auge statt sämmtlicher Mischfarben aus Roth und Grün substituirt werden. Daraus folgt, dafs sämmtliche Mischfarben aus Gelb, Roth und Grün, für das letztere Auge auch aus Gelb und Blau herzustellen sind, und dasselbe läfst sich ebenso für sämmtliche Mischungen aus Blau, Roth und Grün beweisen. Da endlich aus Roth, Gelb, Grün, Blau sämmtliche Farbentöne für das gesunde Auge mischbar sind, sind es für das farbenblinde alle Farbentöne aus Gelb und Blau.

Sind die Farben in der Ebene nach den Principien der Schwerpunktsconstruction geordnet, so müssen alle solche Farben, welche den Farbenblinden bei passender Lichtstärke gleich erscheinen, in einer geraden Linie liegen, da auf der Verbindungslinie zweier Farbenorte deren Mischfarben liegen, und diese von gleichem Farbenton erscheinen müssen, wenn die ursprünglichen Farben gleich aussehen. Ferner läfst sich zeigen, dafs alle diese geraden Linien entweder parallel sind, oder sich in einem Punkte schneiden, und dafs die diesem Schnittpunkte angehörige Farbe dem farbenblinden Auge unsichtbar sein mufs.

Es erscheine dem Farbenblinden die Quantität r der in *R Fig. 150* befindlichen Farbe gleich der Quantität g der in G befindlichen. Nun ist

$$r = nr + (1 - n)r.$$

[1] W. PREYER, *Pflüger's Archiv.* Bd. I. S. 303—305. 1868.

[2] A. KÖNIG, *Verhandl. d. Physik. Gesellsch. zu Berlin.* 1885. Nov. 6.

it der Menge nr der Farbe R ist gleich aussehend die Menge ng der Farbe G; 296
o wenn n ein ächter Bruch, ist gleich aussehend die Menge r der Farbe R mit
r Mischung $(1-n)r$ von R und ng von G. In der Farbenfläche ist diese
ischfarbe zu finden im Punkte S der Linie RG, wenn

$$RS : SG = ng : (1-n)r \text{ . . . . } 1)$$

d die Quantität s der so gewonnenen Mischfarbe ist

$$s = ng + (1-n)r.$$

s Aussehen dieser Quantität s von der Farbe S ist
das farbenblinde Auge unabhängig von dem Werthe
n n.

Wenn wir nun die Quantität b der Farbe B mit
r Quantität s der Farbe S mischen, so erhalten wir
ne Mischfarbe, deren Aussehen für das farbenblinde
uge unabhängig von der veränderlichen Gröſse n ist.
r Ort der Farbe sei T, ihre Menge t, so ist

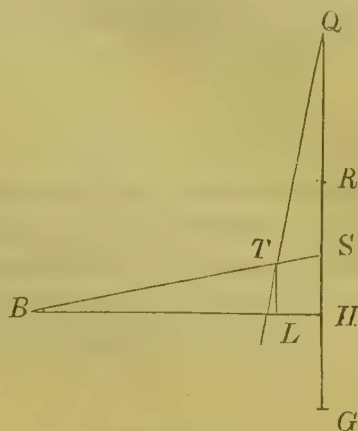


Fig. 150.

$$t = b + s = b + ng + (1-n)r$$

$$TS : BT = b : s = b : [ng + (1-n)r] \text{ . . . . } 1a).$$

llen wir aus B das Loth BH auf RG und aus T das Loth TL auf BH,
nnen wir

$$LH = x \qquad BH = h$$

$$TL = y \qquad HG = a$$

$$RG = c$$

ist nach 1a)

$$\frac{x}{h} = \frac{LH}{BH} = \frac{TS}{BS} = \frac{b}{b + ng + (1-n)r} \text{ . . . . } 1b)$$

$$\frac{y}{h-x} = \frac{TL}{BL} = \frac{SH}{BH} = \frac{SG-a}{h}.$$

Nun folgt aus 1)

$$SG = c \cdot \frac{(1-n)r}{ng + (1-n)r},$$

so

$$\frac{y}{h-x} = \frac{(c-a)(1-n)r - ang}{h[ng + (1-n)r]} \text{ . . . . } 1c).$$

nn man aus 1b) und 1c) die veränderliche Gröſse n eliminirt, so erhält man eine
eichung zwischen den rechtwinkeligen Coordinaten des Punktes T, nämlich

$$0 = ybh(g-r) - x[crg + br(c-a) + abg] + bh[(c-a)r + ag] \text{ . . } 1d).$$

Da dies eine lineare Gleichung zwischen den rechtwinkeligen Coordinaten und y ist, so liegen die betreffenden Orte T der für das farbenblinde Auge gleich aussehenden Mischfarben in einer geraden Linie. Es sei TQ diese gerade Lini Q ihr Schnittpunkt mit der Richtung RG, so ist $QH = y_0$ der Werth, welchen annimmt, wenn man $x = 0$ setzt

$$y_0 = \frac{(c - a)\, r + ag}{r - g} \quad \text{1e}$$

Dieser Werth von y_0 ist unabhängig von der Quantität b der zugemischten Farbe I
297 also schneiden sich alle geraden Linien, welche gleich aussehende Mischfarben v R, G und B enthalten, in demselben Punkte Q, oder sind sich parallel, wei $r = g$ und also y_0 unendlich.

Die Entfernung des Schnittpunktes Q vom Punkte R ist

$$y_0 - c + a = \frac{cg}{r - g} = QR \quad \text{1}$$

Mischen wir eine Quantität q der Farbe Q mit der Quantität g der Farbe G, dafs die Farbe R entsteht, so mufs sein

$$\frac{QR}{RG} = \frac{g}{q}$$

oder nach 1f) da $RG = c$

$$\frac{g}{r - g} = \frac{g}{q}$$

$$q = r - g.$$

Die Quantität der Mischfarbe R wird dann

$$r = g + q.$$

Da nun r nach der Voraussetzung dem farbenblinden Auge gleichaussehend mit g, die Quantität $q = r - g$ aber im allgemeinen nicht Null ist, so f daraus, dafs das farbenblinde Auge die Farbe Q gar nicht empfinc kann.

Der Schnittpunkt der geraden Linien, welche die gleichaussehenden Fa enthalten, fällt also in den Ort einer Farbe, welche dem farbenblinden Auge fe
n Aber es ist hierbei nicht ausgeschlossen, dafs diese fehlende Farbe auch dem malen Auge fehlen könnte, und das Gewicht Null hätte. Das würde heifsen, zwei der Grundempfindungen des normalen Auges dem farbenblinden durch Reizmittel gleich stark erregt würden. In der That ist es neuerdings wahrschei geworden, dafs in dieser Richtung die Lösung des Räthsels zu suchen ist.

Die älteren Erklärungsversuche der Farbenblindheit gingen von erstgenannten Annahme aus, dafs den dichromatischen Augen eine Grundempfindungen fehlte. Ich habe dies in der ersten Auflage di Handbuchs selbst angenommen.

297 In der Young'schen Hypothese könnte die dem farbenblinden A unsichtbare Farbe natürlich nur eine der Grundfarben sein; denn wenn Grundfarben empfunden werden, kann keine andere Farbe, die ja aus

Grundfarben zusammengesetzt ist, fehlen. Wenn man nun diejenigen Farben ıufsucht, welche dem Weifs (beziehlich Grau) gleich erscheinen, so werden lies Farben sein, die für das gesunde Auge entweder Farben vom Farbentone ler fehlenden Grundfarbe oder von ihrer Complementärfarbe sind, in verchiedenen Graden mit Weifs gemischt. Denn alle diese dem Weifs gleich ıussehenden Farben müssen auf einer geraden Linie liegen. Jede gerade Linie aber, die in der Farbenfläche durch den Ort des Weifs gezogen ist, nthält in jeder ihrer beiden Hälften Farben von gleichem Farbentone und erschiedenen Graden der Sättigung. Die Farben der einen Hälfte sind ber denen der anderen complementär. Jede solche Linie, welche gleich ussehende Farben enthält, mufs aber auch, wie eben bewiesen, durch den Ort der fehlenden Grundfarbe gehen, folglich in ihrer einen Hälfte die arben vom gleichen Farbentone mit der Grundfarbe enthalten. Bei den ersuchen, welche ich mit Herrn M. anstellte, zeigte sich, dafs dem reinen rau gleich erschien ein Roth, welches sehr nahe dem äufsersten Roth des pectrum im Farbentone entsprach (38° Ultramarin, 322° Zinnoberroth), ielleicht ein wenig nach der Seite des Purpur abwich, und ein entsprechendes, omplementäres Blaugrün (59° Ultramarin, 301° Parisergrün). Maxwell at ähnlich gefunden für das Roth 6° Ultramarin, 94° Zinnober, für das rün 40° Ultramarin, 60° Parisergrün. Da nun aufserdem das Roth für ormale Augen viel dunkler erschien als das Grau, dieses aber heller als as Grün, so wird kein Zweifel bleiben, dafs das Roth und nicht das Grün er fehlenden Farbe entsprechen mufste. Die Rothblindheit würde also nach 298
oung's Hypothese für eine Lähmung der rothempfindenden Nerven zu erlären sein.[1]

Wenn nun wirklich ein dem äufsersten Roth des Spectrum nahe stehendes oth die eine Grundfarbe ist, so können die beiden anderen wenigstens cht bedeutend von dem von Young gewählten Grün und Violet abweichen.

Daraus würde nun folgen, dafs die Rothblinden nur Grün, Violet und re Mischung, das Blau, empfinden. Das spectrale Roth, welches nur hwach die grünempfindenden, fast gar nicht die violetempfindenden Nerven erregen scheint, müfste ihnen danach als **gesättigtes, lichtschwaches** rün erscheinen, und zwar gesättigter als uns das wirkliche Grün des pectrum erscheint, dem schon merkliche Mengen der anderen Farben beimischt sein müssen. Lichtschwaches Roth, welches die rothempfindenden erven der normalen Augen noch genügend erregt, erregt dagegen ihre

---

[1] So viel ich finden kann, gebührt Herrn W. Preyer (vergl. W. Preyer, *Pflüger's Archiv*, . 25, S 31, 1881; auch separat erschienen unter dem Titel: *Über den Farben- und Temperatursinn besonderer Rücksicht auf Farbenblindheit.* Bonn 1881) das Verdienst, zuerst auf die Priorität Young's Betreff der Erklärung der sog. „Farbenblindheit" durch das Fehlen oder die Lähmung einer der drei serarten der Netzhaut hingewiesen zu haben. Young spricht die hier erwähnte Auffassung aus in einer merkung, die er in dem von ihm herausgegebenen „*Catalogue of works relating to natural philo- ny and the mechanical arts*" an die von J. Dalton verfafste Abhandlung „*on some facts relating to the n of colours* (*Memoires of Lit. and Phil. Soc. of Manchester* V. 28)" anknüpft. Die bezügliche Stelle tet: „it is much more simple to suppose the absence or paralysis of those fibres of the retina, which calculated to perceive red". II

grünempfindenden Nerven nicht mehr genügend, und erscheint ihnen deshalb schwarz.

Spectrales Gelb würde als lichtstarkes gesättigtes Grün erscheinen und da es eben eine lichtstärkere und beinahe gesättigte Abstufung dieser Farbe bildet, erschiene es erklärlich, dafs danach die Rothblinden den Namen der Farbe wählen, den sie von Andern dafür brauchen hören, und alle diese eigentlich grünen Töne Gelb nennen.

Grün wird schon im Vergleich zu den vorigen eine Einmischung von der anderen Grundfarbe zeigen, also eine zwar lichtstärkere aber weifsliche Abstufung derselben Farbe sein wie Roth und Gelb. Die gröfste Lichtintensität des Spectrum erscheint den Rothblinden nach den Beobachtungen von SEEBECK auch nicht wie normalen Augen im Gelb, sondern im Grünblau. In der That, wenn die Erregung der grünempfindenden Nerven, wie wir voraussetzen müssen, im Grün am stärksten ist, wird für die Rothblinden das Maximum der gesammten Erregung etwas nach der Seite des Blau fallen, weil hier die Erregung der violetempfindenden Nerven steigt. Weifs im Sinne der Rothblinden ist natürlich eine Mischung ihrer beiden Grundfarben in einem bestimmten Verhältnifs, welche uns grünblau erscheint, daher sie denn auch die Übergangsstufen im Spectrum von Grün zu Blau für graue Farben erklären.

Weiter im Spectrum gewinnt die zweite Grundfarbe das Übergewicht, die sie Blau nennen, weil das Indigblau, wenn auch in ihrem Sinne noch etwas weifslich, doch durch seine Lichtstärke ihnen ein mehr in die Augen fallender Repräsentant dieser Farbe sein wird als das Violet. Sie erkennen den Unterschied im Aussehen zwischen Blau und Violet. Der von SEEBECK untersuchte H. wufste die Grenze zu zeigen, erklärte aber, er würde das Violet lieber Dunkelblau nennen. Übrigens müssen ihnen die blauen Töne ziemlich ebenso erscheinen, wie den normalen Augen, weil hier auch für diese die Einmischung des Roth sehr klein sein wird.

Da ihnen alle diese Farben des Spectrum noch gewisse, wenn auch feinere Unterschiede zeigen müssen, ist es erklärlich, dafs sie bei gröfserer Aufmerksamkeit und Übung auch wohl lernen, sehr gesättigte Farben richtig zu benennen. Bei weifslicheren Farben aber müssen die genannten Unterscheidungsmerkmale sie im Stich lassen; da können sie sich der Verwechselung nicht entziehen.

Da es immerhin zweifelhaft erscheint, welchen Empfindungen des normalen Auges die beiden Farbenempfindungen der Dichromaten entsprechen, so hat Herr DONDERS vorgeschlagen, nach dem Sprachgebrauche der Maler die der rothen weniger brechbaren Hälfte des Spectrum entsprechende Farbe als die warme Farbe, die der blauen Hälfte als die kalte Farbe zu bezeichnen, wie auch wir im Folgenden thun wollen.

Da man jede Farbe des dichromatischen Auges aus den zwei Grundfarben des Spectrum mischen kann, so ist die Aufgabe, die Curve d

Grundempfindungen durch Messungen zu bestimmen, für diese Augen viel einfacher, als für die dreifarbigen. Es war das schon nach einer von DONDERS vorgeschlagenen Methode durch Herrn VAN DER WEYDE[1] geschehen, und ist dann von den Herren A. KÖNIG und C. DIETERICI[2] ebenfalls durchgeführt worden mit geringen Abweichungen in den Resultaten, die sich aus einer etwas anderen Wahl des als normal betrachteten Weifs zu erklären scheinen.

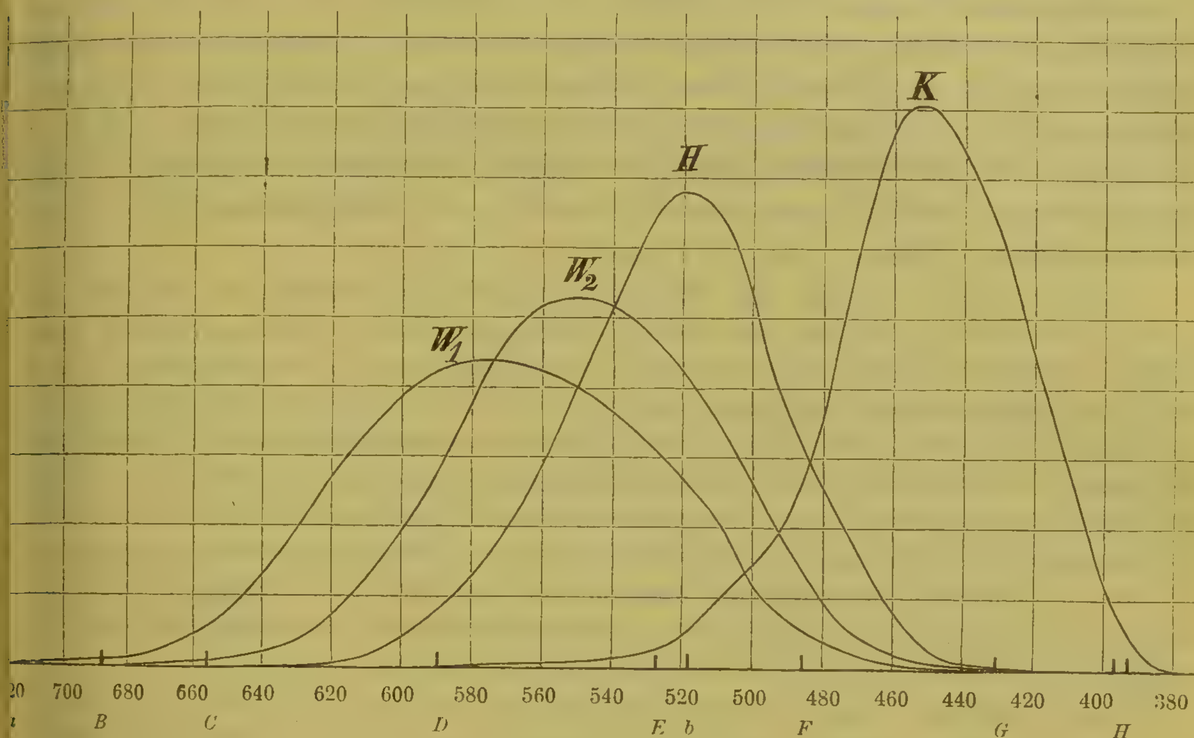


Fig. 151.

In *Fig. 151* sind unter W_1 und K die Curven für die beiden Empfindungen zweier Grünblinden dargestellt (Herr W. WALDEYER und E. BRODHUN), während W_2 und K die für zwei Rothblinde (Herrn L. KRANKE und Herrn H. SAKAKY) giebt. Die Curve H endlich bezieht sich auf ein monochromatisches Auge, welches gar keine Farben und nur Helligkeiten unterscheidet. Augen der letzteren Art sind verhältnifsmäfsig selten und auch in andern Beziehungen als leidend und krank zu bezeichnen.

Die Erklärung der Dichromasie wurde bezweifelt, weil die augenärztlichen Untersuchungen eine gröfsere Mannigfaltigkeit von Fällen anzuzeigen schienen, als der Annahme des Mangels einer der Grundempfindungen entspricht, wenn auch die extremen Fälle, welche man als Rothblindheit oder Grünblindheit bezeichnen kann, verhältnifsmäfsig häufiger constatirt wurden, als die Übergänge zwischen beiden. Aber sowohl die scheinbar weifse Stelle

[1] J. A. VAN DER WEYDE, *Onderzoekingen gedaan in het Physiolog. Labor. d. Utrecht'sche Hoogeschool.* 3 R. VII. Bl. 1. 1881. — *Graefe's Archiv* Bd. 28 (1). S. 1. 1882.
[2] A. KÖNIG und C. DIETERICI, *Sitzungsberichte der Berl. Akademie* vom 29. Juli 1886. Seite 805.

des Spectrum fiel in verschiedene Wellenlängen hinein, als auch variirte das Roth einerseits, und Blaugrün andrerseits, welches auf der Farbenscheibe dem Grau gleichaussehend erschien, während dabei doch einzelne dichromatische Beobachter eine grofse Sicherheit und Feinheit in der Unterscheidung derjenigen Unterschiede zeigten, die sie überhaupt erkennen konnten, zum Theil sogar eine gröfsere Sicherheit, als die Trichromaten mit ihrem verwickelteren Farbensystem.

Die genaueren mit dem Apparate zur Mischung der Spectralfarben angestellten Versuche der Herren A. König und C. Dieterici haben dagegen, obgleich sie sich auf eine grofse Zahl von Farbenblinden bezogen, Übergangsfälle noch nicht gezeigt, sondern alle liefsen sich unzweifelhaft in die Klasse der Rothblinden oder in die der Grünblinden einreihen; wobei die Individuen jeder Klasse unter einander nur verhältnifsmäfsig geringe Abweichungen zeigten.

Auch in *Fig. 151* sind die Höhen der Curven so gewählt, dafs die Mengen beider Grundfarben, die sich zu Weifs vereinigen, gleich grofs genommen sind. Deshalb sind auch hier die Stellen, welche den beiden Arten dichromatischer Augen weifs erscheinen müssen, diejenigen, wo sich die Curve des entsprechenden W mit der Curve K schneidet. Sie liegen ziemlich nahe zusammen über etwa 502 bis 492 $\mu\mu$ der Grundlinie. Da nun diese Stelle aufserdem genau in das Band der starken Absorption des gelben Flecks fällt, so erklärt sich daraus der Umstand, dafs die Wellenlänge der weifs erscheinenden Farbe bei den Dichromaten etwas schwankend ist, und sich Fälle beider Seiten gelegentlich der Mitte des schmalen Intervalls nähern. Daher ist in der That die Wellenlänge der weifs erscheinenden Spectralfarbe kein scharfes Merkzeichen für den Unterschied beider Klassen.[1]

Die wichtigste Frage für die Theorie ist hierbei die, ob im dichromatischen Auge die Curven, welche die Abhängigkeit der drei Elementarerregungen von den Wellenlängen darstellen, unveränderlich und unverändert seien. Dies schien allerdings aus der Erfahrung hervorzugehen, dafs wenigstens im Gebiete der stärker gemischten Körperfarben die Dichromaten keine Unterschiede machen zwischen Farbenpaaren, die den Trichromaten gleich erscheinen. Freilich darf man diesen Satz nur als sehr angenähert richtig betrachten. Derselbe, ganz streng genommen, würde zunächst erfordern, dafs alle trichromatischen Augen in ihren Aussagen über Farbenmischung unter einander übereinstimmten, was durchaus nicht der Fall ist. Jedenfalls müssen wir hierbei zunächst die zweite Klasse der trichromatischen Augen ausscheiden. Einfaches Natriumlicht und eine Mischung von Grün und Roth, die der einen Klasse gleich erscheinen würde, wird von der anderen unterschieden. Aber auch bei den Beobachtungen mit dem Leukoskop,[2] wo man zwei complementäre Farben, welche dickere Quarzplatten im polarisirten Licht geben, möglichst nahe gleich unter einander zu machen strebt, zeigen sich kleine Unter

[1] A. König. *Gräfe's Archiv für Ophthalm.* Bd. 30(2) S. 155. 1884 und *Wiedemann's Annalen* Bd. 22 S. 567. 1884.

[2] Diro Kitao. *Zur Farbenlehre.* Dissertation. Göttingen, 1878.
A. König. *Wiedemann's Annalen* Bd. 17. p. 990. 1882.— *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 1883. p. 2[illegible]
E. Brodhun. *Wiedemann's Annalen.* Bd. 34. p. 897. 1888.

schiede bei fast allen trichromatischen Beobachtern ebenso in der Verschiedenheit der Curven der *Fig. 145* für verschiedene Beobachter. Färbung der Augenmedien würde allerdings solche Veränderungen der Curven auch hervorbringen können, weil dadurch die Lichtintensität verschiedener Theile des Spectrum in verschiedenem Maafse geändert werden würde. Aber eine so starke Absorption, wie sie vorhanden sein müfste, um den Unterschied der beiden Klassen der Trichromaten zu erklären, wo bis zu zwei Dritteln der einen Farbe bei der einen oder andern Klasse absorbirt werden müfsten, würde sich nur durch eine hochgradige blaugrüne oder rosenrothe Färbung der Augenmedien erklären lassen, die sicher nicht da ist. Unter diesen Umständen kann es nicht zweifelhaft sein, dafs es Fälle giebt, wo die Intensität der Erregung jeder Grundfarbe in verschiedenen Augen eine verschiedene Function der Wellenlänge des Lichts ist, und könnte hierin auch der Grund der verschiedenen Gestalt der Curven in *Fig. 149* für verschiedene Beobachter gesucht werden.

Wenn wir dabei von der Hypothese der Erregung der Netzhaut durch photochemische Zersetzungen ausgehen, so könnte man an Änderungen in der Beschaffenheit oder Mischung solcher Substanzen denken, die in den Endelementen der Netzhaut liegen, wodurch die Abhängigkeit ihrer Zersetzbarkeit von der Wellenlänge geändert werden könnte. Wie sehr eingreifende Änderungen in dieser Beziehung bei den Silbersalzen, je nach der Art der Präparation oder bei Zumischungen fremder Stoffe zu erzielen sind, haben die neueren Fortschritte der Photographie gezeigt.

Während nun die Eigenthümlichkeit der anomalen Trichromaten dadurch erklärt werden könnte, dafs ihre grünempfindliche Substanz der rothempfindlichen ähnlicher geworden ist, würden sich dichromatische Augen ergeben, wenn der Unterschied beider Substanzen ganz verschwände, wobei sie entweder beide der normalen rothempfindlichen, oder beide der normalen grünempfindlichen ähnlicher würden. Die Gehirnapparate könnten dabei unverändert functioniren.

Unter diesen Umständen würde in beiden Klassen von Farbenblinden jedes Licht der normalen Endstrecke und Zwischenstrecke die Empfindung erregen, welche das normale Auge im Gelb hat, und in der Mittelstrecke würde dies Gelb durch Zumischung von Violet weifslicher werden, in der brechbareren Endstrecke nur Violet übrig bleiben. Dagegen würden sich die beiden Klassen dadurch unterscheiden, dafs für die, deren Grüncurve in die Rothcurve hinübergegangen ist, die Farben des rothen Endes verhältnifsmäfsig lichtstark erscheinen, die des mittleren Grün dagegen lichtschwächer. Diese würden SEEBECK's Grünblinden entsprechen.

Wenn dagegen die Rothcurve zur Grüncurve hinübergewandert ist, hätten wir geringe Empfindlichkeit für das Licht des rothen Endes zu erwarten, vermehrte für das mittlere Grün. Es würde dies dem Zustande der Rothblindheit entsprechen. Dazwischen könnten Übergänge vorkommen. Doch scheinen, wie schon bemerkt, die Übergänge mindestens viel seltener zu sein, als die an beiden Grenzen liegenden Fälle.

Wenn man ein trichromatisches Auge und ein dichromatisches vergleicht, von denen letzteres alle Farbengleichungen des ersteren als richtig anerkennt, und die beide NEWTON's Gesetze folgen, so würden die Schlüsse, die oben

S. 363 und 364 gezogen sind, streng richtig sein. Die dem dichromatische Auge fehlende Grundfarbe wäre dadurch zu finden. Wie schon erwähnt haben die älteren Farbenmischungsversuche auf den rotirenden Scheiben i dieser Beziehung eine gute Übereinstimmung zwischen den Farbengleichunge der normalen Trichromaten und der Dichromaten ergeben. Diese bestätigt sic aber auch für die Mischungen von Spectralfarben in den Versuchsreihen vo A. König und C. Dieterici. Diese haben gefunden, dafs man bei d Annahme etwas anderer Grundempfindungen als der anfangs gewählten beide Grenzfarben des Spectrum die beiden dichromatischen ziemlich gut m denen der normalen trichromatischen Augen vereinigen kann, der älter Hypothese entsprechend, wonach bei den Dichromaten eine der Grundempfi dungen fehlen sollte. Die hierzu nöthigen Grundfarben wären, wenn wir m $\mathfrak{R}$, $\mathfrak{G}$, $\mathfrak{B}$ die der normalen Trichromaten bezeichnen:

$$\mathfrak{R} = \frac{R - 0{,}15 \,.\, G + 0{,}1 \,.\, V}{0{,}95}$$

$$\mathfrak{G} = \frac{0{,}25 \,.\, R + G}{1{,}25}$$

$$\mathfrak{B} = V.$$

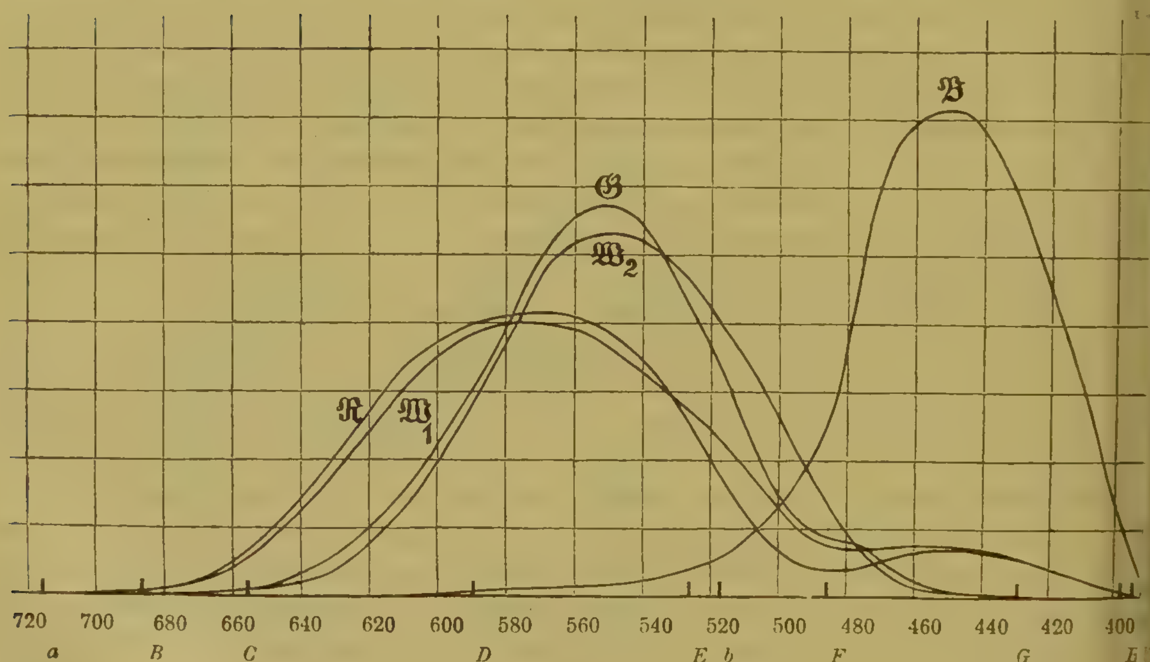


Fig. 152.

Das Roth hierfür wäre also etwas mehr zum Purpur hinüberzieh als das äufserste Roth des Spectrum. Diese Curven sind in *Fig. 152* da stellt. $\mathfrak{R}$, $\mathfrak{G}$, $\mathfrak{B}$ wären die Curven der von den genannten Beobachtern gewählten G r u n d e m p f i n d u n g e n für die normalen Trichromaten, $\mathfrak{W}_2$ un für die Rothblinden, $\mathfrak{W}_1$ und $\mathfrak{B}$ für die Grünblinden. Die anomalen chromaten und die Monochromaten sind aber nicht in dieser Weise u

ubringen; bei ihnen müssen wirklich individuelle Änderungen in der Abängigkeit der Empfindlichkeit von der Wellenlänge vorkommen. Die ersteren eben dem entsprechend auch weit abweichende Farbengleichungen. Die tzteren können überhaupt keine solche geben.

Die Darstellung des Farbendreiecks in *Fig. 139* bezieht sich auf diese tzte Art der Berechnung aus den Elementarfarben 𝔑, 𝔊 und 𝔅. Es ist ierbei zu beachten, dafs die beiden Endfarben des Spectrum, welche die eiden Beobachter zuerst als *R* und *V* gebraucht haben, reelle Farben sind, ie nach Young's Theorie nur aus positiven Werthen der Grundfarben zuammengesetzt sein können. Ihr ursprüngliches elementares Grün ist dagegen ur eine Rechnungsgröfse, welche auch negative Bestandtheile enthalten önnte. Wenn man aber negatives Roth darin annimmt, würde dieses sich on dem positiven Roth der Rothcurve abziehen können, so weit diese eicht. Jenseits ihres brechbaren Endes aber müfste dann auch positives oth in Violet angenommen werden, damit nirgends negatives Roth übrig liebe. Ähnlich, wenn man negatives Violet im erstgefundenen Grün anähme, müfste auch das spectrale Roth eine Zumischung von positivem iolet enthalten. In dieser Weise sind die Annahmen, die man über die usammensetzung der erstgewählten Elementarfarben aus Grundfarben machen önnte, doch einigermafsen eingeschränkt.

Was die Untersuchung Farbenblinder betrifft, so wird durch Fragen, wie sie 299
ese oder jene Farbe nennen, natürlich nur aufserordentlich wenig ermittelt werden, enn die Farbenblinden befinden sich in der Lage, das System von Namen, welches r die Empfindungen des normalen Auges zurecht gemacht ist, auf ihre Empfinngen anwenden zu müssen, für die es nicht pafst. Es pafst nicht nur nicht, eil es zu viele Namen für Farbentöne enthält, sondern in der Reihe der Spectralrben bezeichnen wir Unterschiede als solche des Farbentons, die für die Farbeninden nur Unterschiede der Sättigung oder der Lichtstärke sind. Ob das, was e Gelb und Blau nennen, unserem Gelb und Blau entspricht, ist durchaus zweifelıft. Deshalb erfolgen ihre Antworten auf Fragen über Farben meist langsam und rlegen, und erscheinen uns verwirrt und widersprechend.

Viel besser, aber doch noch sehr unzureichend ist die Methode von Seebeck, n Farbenblinden eine Auswahl gefärbter Papiere oder Proben von Stickwolle zu eben mit der Aufforderung, sie nach ihrer Ähnlichkeit zusammen zu ordnen. ber die Anzahl der Farbenproben müfste ungeheuer grofs sein, wenn darin die arakteristisch verwechselten Farbentöne auch genau gerade in der nöthigen Verischung mit Weifs, und der nöthigen Helligkeit vorkommen sollen, dafs die vollindige Gleichheit für das farbenblinde Auge erzielt wird. So lange aber nur hnlichkeit da ist, wird man sich schwer darüber verständigen, ob die Differenz ne des Farbentons, oder der Sättigung, oder der Helligkeit ist. Man wird also r durch Zufall einige wenige bestimmte Resultate erhalten können.

Dagegen erlaubt der nach Maxwell's Methode eingerichtete Farbenkreisel hnell die nothwendigen Data mit grofser Genauigkeit zu erhalten, weil man sehr cht eine Reihe von Farben durch Mischung erzeugen kann, die dem farbenblinden ige vollkommen gleich erscheinen. Dabei ist die Hauptsache, die den Grundarakter des Mangels bezeichnet, zu ermitteln, welche zwei Farben mit reinem

Grau, wie man es durch die Mischung von Weifs und Schwarz auf dem Kreise erhält, verwechselt werden. Eine davon, die dann dem farbenblinden Auge ver
300 hältnifsmäfsig viel dunkler als dem normalen erscheint, wäre die fehlende Grundfarbe Dabei wird sich auch leicht ermitteln lassen, ob noch ein gewisser Rest von Em pfindlichkeit für die fehlende Grundfarbe vorhanden ist.

n Sehr zweckmäfsig ist auch für die schnelle Bestimmung der wesentlichen Züg einer Dichromasie die zuerst von E. ROSE angewendete, schon oben S. 361 erwähnt Methode, die von einer Quarzplatte zwischen einem NICOL'schen Prisma und eine Doppelspath erzeugten complementaren Farben zu vergleichen. Man läfst den Nico so drehen, bis dem Dichromaten die beiden complementaren Farben gleich erscheinen und sieht dann zu, welche Farben er verwechselt. Sehr gut und vollständig lassen sic solche Beobachtungen auch mit dem **Leukoskop** machen (Siehe oben S. 368), einer Instrumente ähnlicher Art, in welchem die Dicke der eingeschalteten Quarze geänder werden und genaue Bestimmungen der Drehung des Nicol gemacht werden können Ich hatte dieses Instrument construiren lassen, um für die von der Temperatur d Flammen herrührenden Unterschiede in der Mischung des Lichts ein Maafs zu ge winnen. Trichromaten bekommen darin bei mäfsigen Quarzdicken überhaupt kei vollkommene Uebereinstimmung der beiden complementären Farben, d. h. keine v diesen wird vollkommen weifs; doch können sie ziemlich gut so einstellen, da keine der beiden Farben röther als die andere erscheine. Dabei zeigen sich ab auffallende individuelle Unterschiede, selbst zwischen den beiden Augen desselbe Beobachters. Dichromaten dagegen stellen auf absolute Gleichheit ein, und d Winkel, um den der Nicol gedreht ist, giebt dann ein Maafs für die Art ihr Dichromasie.[1]

300 Will man die hier auseinander gesetzte Theorie prüfen, so mufs man fern bestimmen, ob jede gegebene Farbe, namentlich die Hauptfarben des Spectru für den Farbenblinden aus zwei passend gewählten Farben zusammengesetzt werd könne.

G. WILSON hat namentlich darauf aufmerksam gemacht, wie gefährlich Farbenblindheit auf Schiffen und Eisenbahnzügen werden könne, wo es darauf kommt, farbige Signale zu erkennen. Er fand im Durchschnitt einen Farbenblind unter 17,7 Personen.

Farbenblindheit der Netzhautperipherie.

n Ähnliche Abweichungen, wie bei den vollständigen Dichromaten komm auch in der Peripherie des Gesichtsfeldes bei den normalen Trichromat vor, und zwar am stärksten entwickelt in dem lateralen Theile der Netzha der in gewöhnlicher Augenstellung das Bild des Nasenrückens empfän Wenn man das rechte Auge, ohne den Kopf zu drehen, stark nach rec wendet, und nun ein Quadrat farbigen Papiers von etwa 3 bis 10 cm Se mit ausgestrecktem linken Arm von der Seite her vorschiebt, so dafs anfängt, vor dem seitlich das Gesichtsfeld begrenzenden Nasenrück sichtbar zu werden, so bemerkt man eine äufserste Zone, in der überha keine Farben unterschieden werden, auch nicht Ultramarinblau von ein

[1] A. KÖNIG, *Centralbl. für prakt. Augenheilk.* 1884. Decemberheft.

äfsig dunklen Grau, und wo überhaupt alle Farben nur als Abstufungen er Helligkeit von bläulichem Grau erscheinen, Roth am dunkelsten. Man eht an dieser Stelle des Sehfeldes auch die Umrisse verhältnifsmäfsig chlecht, und erkennt nur gröfsere, namentlich bewegte Objecten. Aber der arbeneindruck fehlt doch noch an Stellen, wo man die Umrisse der helleren and, die noch weiter nach den Grenzen des Gesichtsfeldes hin liegt als as farbige Papier, erkennen kann. Man mufs natürlich dafür sorgen, dafs ie betreffenden Papiere von vorn voll beleuchtet sind, und auch, um das rlöschen der Farben durch Nachbilder zu vermeiden, sie hin und her beegen dem Rande des Gesichtsfeldes parallel. Der Hintergrund, auf den e sich projiciren, mufs dunkel sein.

Weiter gegen die Mitte des Gesichtsfeldes schliefst sich daran eine one, in der der Unterschied von gelb und blau deutlich hervortritt, dagegen esättigtes Roth fast schwarz oder dunkelgelbbraun, Blattgrün gelblich weifs rscheint. Zwischen diesen beiden Zonen ist für mein Auge die Grenze emlich scharf, ja bei schmalen Objecten scheint mir das auftauchende elb plötzlich etwas anders localisirt, als das vorher graue Bild hervorzuringen, so dafs das Gesammtbild eine Art plötzlichen Ruckes erleidet, s ob es über eine Falte der Netzhaut spränge. Endlich noch weiter der itte zu tritt auch der Gegensatz zwischen Roth und Grün voll zur Erheinung.

Auch die Herren SCHELSKE[1], AUBERT[2], KLUG[3], J. v. KRIES[4] haben mit eringen Abweichungen übereinstimmende Angaben gemacht. Der erstgeannte hat auch mit spectralem Licht beobachtet, wobei spectrales Gelb nd Blaugrün (Linie F) durch grünlichere Farbentöne hindurchgingen, ehe e farblos wurden. Er mafs auch die Winkelausdehnung, und fand für die ormale Empfindung an der Nasenseite des Gesichtsfeldes 53°, an der chläfenseite 68°, nach oben 38°, nach unten 37°. Derselbe hat auch arbengleichungen für die rothblinde Zone der Netzhaut mittels rotirender cheiben hergestellt, und diese dem Zustande eines dichromatischen Auges ntsprechend gefunden.

Die Benennungen, welche wir den Farbeneindrücken auf der Peripherie er Netzhaut geben, erklären sich am leichtesten unter der Annahme, dafs der rothblinden Zone die rothempfindliche, photochemische Substanz der rünempfindlichen ähnlich geworden sei, in der äufsersten Zone alle drei inander gleich. Dieselben Bezeichnungen sind übrigens auch von den atienten in denjenigen seltenen Fällen für die Farben des dichromatischen ystems angewendet worden, wo ein früher trichromatisches Auge durch rkrankung dichromatisch wurde, oder von den beiden Augen desselben ndividuum eines dichromatisch, das andre trichromatisch war.

---

[1] R. SCHELSKE, *Graefe's Archiv für Ophthalmol.* IX (3). S. 39.
[2] H. AUBERT, *Physiol. Optik.* S. 544.
[3] KLUG, *Graefe's Archiv für Ophthalmol.* XXXI (1).
[4] J. v. KRIES, *Die Gesichtsempfindungen.* Leipzig, 1882. S. 93.

Übrigens will ich dabei bemerken, dafs ich diesen Umstand nicht für beweisend für die genannte Hypothese des Übergangs einer lichtempfindlichen Endsubstanz in eine andere halte, obgleich die Thatsachen sich so am leichtesten erklären lassen. Denn auch wenn eine der Grundempfindungen fehlte, würden wir lernen, welche Empfindungen in den peripherischen Theilen dem häufigsten und intensivsten Lichteindrucke, der Farbe der am hellsten erleuchteten Körpe entsprechen. Dieser verkündet uns objectives Weifs: was wir davon unterscheiden können, würde dann nach der Art seines Unterschiedes von der dem Weifs entsprechenden Empfindung abgeschätzt werden. Wenn uns also eine Gruudempfindung z. B. Roth, fehlt, so deuten wir den Rest wahrnehmbarer Farben als Farben eine Linie, die im Farbendreieck durch den Ort des Weifs parallel der Verbindungslini der beiden noch erhaltenen Grundfarben gelegt ist. Diese würde, wenn Roth fehlt von Gelb durch Weifs zu Blau gehen.

Da wir überhaupt im Stande sind, den Unterschied des dichromatische Farbensehens in der Peripherie unserer Netzhaut mit dem trichromatischen de Mitte zu übersehen, und er durch Jahrtausende übersehen worden ist, bis di physiologische Beobachtung besonders auf diesen Punkt gerichtet wurde, könne wir daran ermessen, bis zu welchem Grade unsere auf die Beurtheilung der Körpe farben gerichtete Einübung bei der Abschätzung qualitativer Unterschiede der ge sehenen Objecte mitwirkt.

Farben kleiner Felder.

300 Schliefslich mufs noch erwähnt werden, dafs Farben vom Auge n dann unterschieden werden, wenn sie ein Feld von gewisser Ausdehnun bedecken, und eine gewisse Menge farbigen Lichts in das Auge fällt. weiter das farbige Feld nach den Grenzen des Gesichtsfeldes und der Net haut hin liegt, desto gröfser mufs es sein, damit seine Farbe noch erkan werden könne. Ist das farbige Feld zu klein, so erscheint es auf hellere Grunde grau oder schwarz, auf dunklerem Grunde grau oder weifs. Indess kann auch die Farbe von unendlich kleinen Feldern erkannt werden, we die Menge des Lichts, die sie aussenden, endlich ist, wie z. B. bei d Fixsternen, deren Farben wir unterscheiden. Nach den Versuchen v Aubert[1] erschien ein Quadrat von 1 Millimeter Seite, wenn es blau weifsem Grunde war, in 10 Fufs Entfernung schwarz, ebenso ein rothes 20 Fufs Entfernung. Ein gelbes und grünes verschwammen schon in 12 F vollständig mit dem weifsen Grunde. Auf schwarzem Grunde dagegen schienen das grüne und gelbe Quadratmillimeter in 16 Fufs Entfernung graue Punkte, das rothe bei 12 Fufs. Blau erschien blau, wenn es üb haupt gesehen wurde.

Nach demselben Beobachter verschwindet die Farbe von farbig Quadraten in 200 Millimeter Entfernung im Mittel unter folgenden A weichungswinkeln von der Gesichtslinie:

---

[1] H. Aubert, *Graefe's Archiv für Ophthalmologie.* Bd. 3(2).

	Roth.				Blau.				Gelb.				Grün.			
Seite des Quadrats	1.	2.	4.	8.	1.	2.	4.	8.	1.	2.	4.	8.	1.	2.	4.	8.
Weifser Grund	16°	19°	26°	37°	15°	22°	36°	49°	21°	31°	44°		20°	36°	44°	50°
Schwarzer Grund	30	32	42	53	36	48	54	72	30	32	49	47°	24	27	35	45
Mittel	23	26	34	45	26	35	45	61	26	32	42		22	32	40	47

Dabei ist zu bemerken, dafs der Farbenton desto eher verschwindet, je stärker die Verschiedenheit der Helligkeit von der des Grundes ist, woher die Unterschiede zwischen den Resultaten auf weifsem und schwarzem Grunde rühren. Das Blau war die dunkelste der von Aubert benutzten Farben.

Ehe die Farben ganz verschwinden, erleiden sie noch eine ähnliche Änderung des Farbentons, wie bei der Vermehrung ihrer Intensität. Roth und Grün werden nämlich sehr deutlich Gelb, Blau scheint direct in Grauweifs überzugehen. Ich komme auf diese Erscheinungen noch einmal im nächsten Paragraphen zurück.

Grenzen der Genauigkeit für das Farbenmischungsgesetz. *n*

Das Gesetz der ungestörten Superposition der Elementarerregungen ist offenbar ein verhältnifsmäfsig recht genauer Ausdruck eines breiten Gebietes von Erscheinungen, und hatte sich den älteren Beobachtungsmethoden gegenüber vollkommen bewährt, namentlich wo man die matteren Farbengegensätze und geringen Lichtstärken von Pigmentfarben für die Versuche benutzte. Kleinere Abweichungen sind bei diesen schon deshalb nicht sicher festzustellen, weil kleine Änderungen in der Mischung des beleuchtenden Lichtes die Farbengleichungen etwas zu verändern im Stande sind. Die neueren genau messenden Versuche mit Spectralfarben scheinen aber doch zu zeigen, dafs die Genauigkeit von Newton's Gesetz keine unbeschränkte ist.

Die ersten Beobachtungen dieser Art sind an Dichromaten gemacht worden, von Preyer[1], A. König[2], van der Weyde[3]. Sie ergaben, dafs die bei schwächerer Beleuchtung weifs erscheinende Farbe des Spectrum bei gröfserer Helligkeit gelblicher erschien, und durch eine bläulichere ersetzt werden mufste, um dem Weifs des beleuchteten Lichtes gleich zu bleiben. Farbengleichungen zwischen einer einfachen mittleren Spectralfarbe, und einem Gemisch von zwei andern hat dann Herr E. Brodhun[4] (grünblind) unter Herrn A. König's Leitung aufgestellt, und dabei ebenfalls gefunden, dafs bei steigender Intensität mehr von der wärmeren Farbe genommen

---

[1] W. Preyer. *Pflueger's Archiv* Bd. 25. S. 31. 1881.
[2] A. König, *Wiedemann's Annalen* Bd. 22. S. 561. 1884. — *Graefe's Archiv für Ophthalmol.* Bd. 30. (2). S. 155. 1884.
[3] A. J. van der Weyde, *Onderzoekingen. Physiol. Labor. Utrecht.* R. (3.) D. VII. Bl. 1. 1881.
[4] A. König, *Sitz.-Berichte d. Akademie in Berlin*, 1887, 31. März. S. 311.

werden mufste, um die Gleichung wiederherzustellen. Die Änderungen der Lichtintensität wurden dabei in verschiedener Weise vorgenommen, um jede Änderung der Wellenlänge der verglichenen Farben auszuschliefsen, theils durch geänderte Stellung der Nicols, theils durch Erweiterung des Ocularspalts, theils durch die der Collimatorspalten. Diese Erweiterung der Spalten erfolgte, der Einrichtung des Apparats gemäfs, immer gleichmäfsig nach beiden Seiten.

Andeutungen solcher Änderungen sind auch für trichromatische Augen wahrgenommen worden von Herrn Albert[2] und A. König[3]. Letzterer fand aber nur, dafs die Unterschiede der Sättigung zwischen ungemischten oder fast ungemischten gelben Farbentönen und gemischten deutlicher bei schwacher Helligkeit erscheinen.

Bei der in § 18 erörterten grossen Veränderlichkeit der lichtempfindlichen Substanzen der Netzhaut erscheint eine Änderung ihrer photochemischen Zersetzbarkeit den verschiedenen Wellenlängen gegenüber nicht unmöglich. Machen wir die einfachste Annahme, auf die uns schon die Existenz der anomalen Trichromasie geführt hat, dafs eine Mischung zweier photochemisch verschiedener Stoffe an den Retinalenden der Sehnervenfasern vorkommen könne, und dafs von diesen beiden die eine durch Licht schneller zerstört, beziehlich langsamer hergestellt werde, so würde intensives Licht das Mischungsverhältnifs und damit auch die Form der Empfindlichkeitscurve ändern können. Gerade bei Dichromaten, bei denen die eine Curve schon geändert ist, und Uebergänge zwischen den beiden extremen Formen vorzukommen scheinen, wäre eine solche grössere Veränderlichkeit der Mischung wahrscheinlicher.

Man könnte sich etwa denken, dafs in einer Gruppe von Netzhautelementen des normalen Auges grünempfindlicher Stoff in den rothempfindlichen regelmäfsig übergeführt werde, dafs in einzelnen Individuen dies nicht vollständig oder gar nicht gelingt. Diese würden rothblind sein. Wenn in anderen Individuen auch die andere Gruppe von Netzhautelementen, die gegen die Umwandlung geschützt bleiben sollten, vollständig oder unvollständig in die Veränderung hineingezogen würde, so würde Grünblindheit oder anomale Trichromasie entstehen. Wenn starke Lichtwirkung einen kleinen Theil der rothempfindlichen Substanz zunächst in die grünempfindliche zurückführte, ehe diese weiter zerstört wird, würde das Maximum der Empfindlichkeit sich wieder dem Grün nähern, und dadurch der neutrale Punkt des dichromatischen Spectrum gegen das Blau hin verschoben werden.

Ich gebe diese ganz hypothetische Betrachtung hier nur, um zu zeigen, dafs die angeführten Thatsachen durchaus nicht Newton's Gesetz aufheben; sie würden nur zeigen, dafs dasselbe, ähnlich sehr vielen anderen Naturgesetzen, eine erste immerhin sehr gute und innerhalb weiter Grenzen ausreichende Annäherung an die volle Wahrheit giebt.

E. Hering's Farbentheorie.

Diese viel besprochene Theorie ist eine Modification von Young's Theorie, welche durch die Wahl anderer Grundempfindungen sich dem, was sie für unmittelbare Thatsachen der inneren Beobachtung ansehen zu müssen glaubt, besser anzu-

---

[2] E. Albert, *Wiedeman's Annalen.* Bd. XVI. S. 129. 1882.
[3] A. König *Sitz.-Ber. d. Berl. Akad.* 1887. 31. März S. 317.

schliefsen versucht. Es werden darin auch drei Elementarempfindungen angenommen, die an physiologische Vorgänge in drei verschiedenen Theilen des Nervenapparats oder der „Sehsubstanz" gebunden sind. Mindestens zwei von diesen physiologischen Processen sollen aber den Gegensatz von positiv und negativ zeigen. Die eine dieser Sehsubstanzen würde im Zustande der Erregung die Empfindung des Weifs geben, in dem der Ruhe die des Schwarz, die zweite die beiden als „Gegenfarben" bezeichneten Empfindungen das Blau und Gelb, die dritte das zweite Paar der Gegenfarben Roth und Grün. Mit Roth bezeichnet aber Herr HERING eine Farbe, die bisher Purpur genannt wurde, die Complementärfarbe des Grünen. Man kann Elementarerregungen (das Wort in dem oben von uns definirten Sinne gebraucht) angeben, welche diesen HERING'schen Elementarempfindungen entsprächen, und aus denen sich alle anderen zusammensetzen lassen würden.

Wenn man LAMBERT's Farbenpyramide zwischen drei rechtwinkeligen Coordinaten construirt denkt, so würde die die Weifsempfindung darstellende Coordinate w etwa der Axenrichtung der Pyramide entsprechen, wie schon oben erörtert:

$$u = \sqrt{\frac{1}{3}}\left[x + y + z\right]$$

Die zweite Richtung, die den Gegenfarben Roth, Grün entspricht, würde in eine durch die Axe des Weifs und des Grün gelegte Ebene fallen, die dritte in eine senkrecht gegen diese durch die Axe des Weifs gelegte. Die Entfernung von der Roth-Weifs-Ebene wäre in diesem Coordinatensystem

$$v = \sqrt{\frac{1}{2}}\left(x - z\right)$$

Positives v würde bei positivem Werthe der Wurzel der Empfindung Gelb, negatives v dem Blau entsprechen. Die Entfernung von der Grün-Weifs-Ebene wäre

$$w = \frac{1}{\sqrt{6}}\left[x - 2y + z\right]$$

So wären drei lineare Functionen der Elementarempfindungen der YOUNGschen Theorie gewonnen, welche selbst als solche gebraucht werden könnten, und der Richtung nach den von Herrn HERING verlangten Elementarempfindungen entsprechen würden. Bei positivem Werthe der Wurzeln würde u der Weifsempfindung, positives v dem Gelb, positives w dem Purpurroth entsprechen, negatives v dem Blau, negatives w dem Grünen.

Diese Gleichungen gebe ich hier nur deshalb in so bestimmter Form, um an feste Vorstellungen anzuknüpfen, da die Willkürlichkeit der zu wählenden Grundfarben x, y, z übrigens hinreichende Breite der Veränderlichkeit gewähren würde, um noch recht verschiedene Deutungen der Coordinaten u, v, w im Sinne der HERING'schen Ansicht zuzulassen. Die Werthe der Coefficienten sind so gewählt, dafs die u, v, w in demselben Längenmafsstab zu messen sind, wie die x, y, z.

Wenn wir für die Werthe der x, y, z nur positive Grössen zulassen, ergiebt sich zunächst aus dem Werthe von w, dafs jede Art von Licht die Weifsempfindung in positivem Sinne erregen mufs, dafs im Gegentheil keinerlei Art von objectivem

Licht die Empfindung einer der HERING'schen Gegenfarben rein erregen kann, dafs also diese Empfindungen der reinen unvermischten Gegenfarben solche sind, die wir nie gehabt haben, noch jemals werden haben können, und die durch einen viel breiteren unvermittelten Sprung von Allem, was wir je empfunden haben, getrennt sind, als die von der YOUNG'schen Theorie geforderten Farbenempfindungen, welche etwas über das Gebiet der objectiven Farben hinausreichen. Letzteren können wir, wie wir in der Lehre von den Nachbildern sehen werden, durch besondere Behandlung einzelner Netzhautstellen uns wenigstens annähern, während diese selben Methoden das Gegentheil des nach der HERING'schen Theorie zu erwartenden Erfolgs hervorrufeu, wenn man sich seinen hypothetischen reinen Farbenempfindungen zu nähern versuchen möchte.

Ganz in Übereinstimmung mit meiner in diesen Gleichungen dargestellten kurzen Zusammenfassung seiner Theorie nimmt denn auch Herr HERING an, dafs weifses Licht nur die weifsempfindende Sehsubstanz erregt, und diese immer in positive Thätigkeit versetzt, gelbes Licht daneben auch die Blau-Gelb empfindende Substanz erregt, blaues Licht dieselbe ebenfalls, aber in entgegengesetzter Weise. Wenn beide Lichter sich gerade im Gleichgewicht halten, haben sie dagegen keine Wirkung auf die blaugelbe Sehsubstanz [1]. Gleiches gilt für die Erregungen der rothgrünen Sehsubstanz durch rothes und grünes Licht.

Die Empfindung der Helligkeit identificirt Herr HERING mit der Weifsempfindung. Er behauptet deshalb folgerichtig, dafs mit der reinen Blau- oder Gelbempfindung keine Empfindung von Helligkeit verbunden sei. Ich mufs gestehen, dafs ich persönlich mir keine Anschauung bilden kann von einer Farbe, die nicht irgend einen Grad von geringerer oder gröfserer Helligkeit hätte, und finde deshalb eine solche Abstraction nicht recht verträglich mit einem System, welches sich in letzter Instanz auf die unmittelbaren Aussagen innerer Anschauung berufen zu dürfen glaubt, und sich dadurch den andern überlegen meint.

Intensitätsunterschiede indessen in den reinen Empfindungen der Gegenfarben müssen vorkommen können, wenn diese auch nicht Empfindungen verschiedener Helligkeit sind. Bei der Vergleichung gleich hellen gesättigten und weifslichen Blaus würde nach HERING die Weifsempfindung in beiden gleiche Intensität haben, die Blauempfindung aber gröfsere in dem gesättigten Blau.

Als die physiologische Grundlage der entgegengesetzten Empfindungen betrachte Herr HERING die entgegengesetzten Processe des organischen Stoffwechsels, die Zersetzung der organischen Masse bei ihrer Thätigkeit (*Dissimilirung*) und die Wiederherstellung (*Assimilirung*) derselben unter dem Einflufs des Blutlaufs und des im Blute aufgespeicherten, schwach gebundenen Sauerstoffs. Welche Farbe übrigens in der blaugelb, beziehlich rothgrün empfindenden Substanzen der Assimilirung, welche der Dissimilirung entspreche, bleibt unentschieden. Die physiologischen Unwahrscheinlichkeiten dieser Annahme sind zum Theil schon oben erwähnt, theils werden wir in der Lehre von den Nachbildern darauf zurückkommen.

Diese Annahme doppelter Nervenwirkung hat Herr E. HERING ursprünglich auch auf die weifs-schwarz empfindende Sehsubstanz übertragen. Indessen bleibt er hier insofern mit der bisherigen Nervenphysiologie in Übereinstimmung, als in dieser Substan

---

[1] Es war dies ein Punkt, den Herr HERING in den älteren Darstellungen seines Systems zweifelhaft gelassen hatte, so dafs nicht klar war, ob er drei oder sechs unabhängige Variable zählte; nach den neuerdings von ihm gegebenen Erklärungeu darf das im Text Gesagte wohl als zugegeben betrachtet werden.

alles Licht nur Dissimilirung und die Empfindung von Weifs erregen soll, andererseits Mangel des Lichts nur Assimilirung d. h. Wiederherstellung der Erregbarkeit. Dafs während dieses letzteren Vorganges eine Empfindung der Dunkelheit wirklich besteht, darüber sind wir alle einig. Hier ist die Differenz nur eine theoretische. Nach der älteren und auch von mir vertretenen Meinung, müssen wir, um wahrzunehmen, dafs es zur Zeit in einer bestimmten Richtung des Sehfeldes hell sei, auch unterscheiden können, dafs zu anderer Zeit diese Wahrnehmung fehle. Diese Wahrnehmung, dafs eine Empfindung, die da sein könnte, zur Zeit nicht da sei, enthält immerhin eine Aussage über den jetzigen Zustand des Organs, der von allen Empfindungen irgend welches einfallenden Lichtes unterschieden ist, und in diesem Sinne bezeichnen wir ihn auch als eine Empfindung, nämlich die von „Dunkel". Herr HERING glaubt dagegen, dafs auch die Empfindung von Schwarz ihren besonderen physiologischen Erregungsgrund haben müsse, und sucht ihn in der Assimilirung innerhalb der weifs-schwarzen Sehsubstanz.

Aus der gegebenen Darstellung wird der Leser zunächst entnehmen, dafs Herrn HERING's Theorie, wenn man über ihre physiologischen Bedenken fortsehen will, alle bisher besprochenen Thatsachen der Farbenmischung ebenso gut, aber auch nicht besser zu erklären vermag, wie TH. YOUNG's Theorie. Sie ist ja von dieser nur durch die besondere Wahl der Elementarerregungen unterschieden und diese ist, wie wir erörtert, wenn man negative Werthe derselben zuläfst, den bisher besprochenen Thatsachen gegenüber so gleichgültig, wie die Wahl der Coordinatenrichtungen bei einem Problem der analytischen Stereometrie.

Was Herr E. HERING gegen TH. YOUNG's Theorie einzuwenden hat, reducirt sich in seiner neuesten Darstellung [1] auf Folgendes: „An der Theorie von YOUNG-HELMHOLTZ wirkt von vornherein die Annahme der drei farbigen Grundempfindungen abstofsend, weil dieselben gar nicht aufzeigbar sind (?), und bekanntlich je nach Bedürfnifs (?) bald diese, bald jene Farbentöne als diesen Grundempfindungen entsprechend angenommen werden." Hierzu ist schon bemerkt, dafs man sich den Grundempfindungen der YOUNG'schen Theorie, soweit sie nicht zu den objectiven Farben gehören, in der That durch die Methode partieller Netzhautermüdung viel mehr annähern kann, als den reinen HERING'schen Gegenfarben. Dann haben allerdings verschiedene Bearbeiter der YOUNG'schen Theorie verschiedene Annahmen über die drei Grundfarben gemacht und verschiedenes Gewicht auf Thatsachen gelegt, die auf die Entscheidung hindeuteten; dafs aber nach Bedürfnifs gewechselt worden sei, ist eine ungerechtfertigte Verdächtigung. Vorhandene Zweifel einzugestehen ist jedenfalls besser als sich in dogmatischer Sicherheit wiegen.

Herr HERING fährt fort: „Wenn die den drei Urvalenzen entsprechenden Erregungen eine physiologisch so ausgezeichnete Stellung einnehmen würden, so sollte man doch meinen, dafs auch die zugehörigen Empfindungen etwas Besonderes haben müssten." Das haben sie, wie ich meine, in der hervortretenden Gluth der Farbensättigung, wofür wiederum die Theorie der Gegenfarben keinen Erklärungsgrund giebt.

Weiter: „Gelb macht z. B. viel mehr den Eindruck einer einfachen oder Grundempfindung als Violet; und doch soll letzteres eine Grundempfindung, ersteres aber ein Gemisch aus gleichzeitiger Roth- und Grünempfindung, oder wenigstens irgendwie

[1] E. HERING. *Über Newton's Gesetz der Farbenmischung* (*Jahrbuch „Lotos„* Bd. VII. Prag. 1887.) (S. 70 der Separatausgabe.)

das Ergebnifs des gleichzeitigen Bestehens der diesen beiden Grundempfindungen entsprechenden Principalerregungen sein." Welch trügerisches Mittel die angebliche innere Anschauung in solchen Dingen ist, zeigt am besten das Beispiel von zwei solchen Autoritäten, wie GOETHE und Sir D. BREWSTER, die beide glaubten, im Grün das Blau und Gelb zu sehen, aus denen sie es, getäuscht durch die Erfahrungen an Malerfarben, gemischt glaubten.

Weiter: „HELMHOLTZ sagt ganz richtig: »Soviel ich sehe, giebt es bisher kein anderes Mittel, eine der Grundfarben zu bestimmen, als die Untersuchung der Farbenblinden.« Dies Mittel hat sich bekanntlich für die YOUNG'sche Theorie nicht bewährt." Das wäre, selbst wenn es richtig wäre, immerhin kein Grund gegen die Zulässigkeit der Theorie. Gerade die Theorie der Farbenblindheit scheint, wie wir noch sehen werden, ein besonders schweres Kreuz der HERING'schen Theorie werden zu sollen, während die bisher genau constatirten Thatsachen der Rothblindheit und Grünblindheit sich verhältnifsmäfsig leicht und vollständig unter die beiden Erklärungsformen der YOUNG'schen Theorie einreihen lassen.

Endlich: „Auch die drei Faserarten, welche übrigens, wie HELMHOLTZ selbst schon bemerkte, für die Theorie nicht unentbehrlich sind, wurden bisher vergebens gesucht." Dies trifft HERING's Theorie genau ebenso, wie YOUNG's.

Der Leser wird sich leicht überzeugen, dafs diese Einwendungen ohne alles Gewicht sind.

Dazu kommt nun noch eine Reihe von angeblichen Widersprüchen und Ungenauigkeiten, die er in GRASSMANN's und meiner Erklärung von NEWTON's Farbenmischungsgesetz, zum Theil auch bei Herrn V. KRIES entdeckt haben will (l. c. § 34), die, auch wenn sie begründet wären, keineswegs gegen YOUNG's Theorie sprechen würden sondern nur gegen deren Interpreten. Hier aber scheint mir die Unklarheit auf Seiten unseres Gegners zu liegen.

Diese Einwürfe gehen davon aus, dafs bei Mischungen einer gesättigten Farbe mit Weifs zuweilen auch der Farbenton der Mischfarbe geändert erscheine. Rothweifs z. B. mehr dem Rosenroth, Blauweifs dem Violet sich nähere, und dafs andererseits bei grosser Lichtintensität die Spectralfarben in der oben beschriebenen Weise theils weifslicher, theils gelblicher erscheinen.

Wenn man aber von denjenigen Elementarerregungen redet, die auf Grund von NEWTON's Gesetz einzig mit Sicherheit diesen Namen verdienen, da sie ungestört neben einander bestehen können: so ist nur diejenige Empfindung sicher als entsprechend der Coexistenz einer weifsen und einer rothen Elementarempfindung anzuerkennen, welche durch gleichzeitige Einwirkung des entsprechenden weifsen und rothen Lichts zu Stande kommt. Der Begriff der Elementarerregung ist hierbei natürlich nicht in dem engeren Sinne von YOUNG's Hypothese, sondern in dem oben erörterten weiteren Sinne genommen, wo darunter auch lineare Verbindungen von Grundempfindungen verstanden sind. Von anderen als diesen superponirbaren Elementen im Gebiete der Farbenempfindung wissen wir überhaupt nichts; und wollen wir einen festen Sinn für unsere Farbenbezeichnungen behalten, so müssen wir diese so durchführen, wie ich oben auseinandergesetzt, und wie ich es in meinen früheren Schriften schon immer gethan, wie es auch H. GRASSMANN jedenfalls gemeint hat.

Dabei können nun abweichende Schätzungen des Unterschieds zwischen einer weifslichen und mehreren gesättigten Farben vorkommen, welche nicht immer die wirklich mit Weifs gemischte Farbe als die der weifslichen Farbe ähnlichste erscheinen lassen; und wenn man ohne genügende Erfahrung über Farbenmischung

nur nach der Ähnlichkeit der Empfindung schätzen soll, welche Farbe mit Weifs gemischt sei, kann man sich irren. Wir werden darüber bei den Unterschiedsempfindlichkeiten zu handeln haben. Weiter zeigt es sich, dafs die Farben von sehr hoher Lichtstärke kleinere Unterschiede in der Empfindung zeigen, als die mittlerer Lichtstärke, wofür wir ebenfalls den Grund, und zwar aus YOUNG's Theorie nachweisen werden. Sie erscheinen also einander und dem Weifs ähnlicher; das drücken wir dadurch aus, dafs wir sie weifslicher nennen, als die lichtschwächeren Farben derselben Art. Ich habe aber schon oben erwähnt, dafs die Unterschiedsempfindungen nicht mehr in die Reihe der reinen Superpositionserscheinungen gehören, wie sich im nächsten Paragraphen zeigen wird.

Dessen ungeachtet sind die lichtstarken einfachen Farben immer noch so gesättigt, als Farben ihrer Lichtstärke sein können, und es ist nicht nöthig, oder wenn man festen Wortsinn behalten will, nicht zulässig, sie als weniger gesättigt zu bezeichnen. Vielmehr ist nur zu sagen, dafs die Empfindung für Unterschiede des Farbentons bei hoher Lichtstärke ebenso undeutlicher wird, wie dies für die verschiedenen Grade der Lichstärke selbst schon längst constatirt ist.

Wenn die Weifsempfindung, und die Empfindungen der Gegenfarben in der HERING'schen Theorie wirklich den Namen von Elementen oder Bestandtheilen der Empfindung verdienen sollen, was er doch offenbar meint, da er ihnen einzelne besondere „Sehsubstanzen" anweist, so mufs er sie *entweder* als die aus dem additiven Gesetz folgenden Elementarerregungen anerkennen, *oder* es sind ganz hypothetische Vorgänge, von deren gesonderter Existenz und Superponirbarkeit niemand etwas weifs. Dann bedeutet seine Polemik gegen GRASSMANN und mich nur, dafs wir zu einer Zeit, wo seine Hypothese noch nicht erfunden war, nicht im Sinne seiner Hypothese geredet haben.

Die Vorzüge seiner eigenen Hypothese scheint Herr HERING hauptsächlich darin zu suchen, dafs sie sich dem in der Sprache fixirten System von Namen, die sich, wie ich oben erörtert, wesentlich auf das System der Körperfarben beziehen, näher anschliefst. Diesem Umstande verdankt sie in der That eine gewisse Gemeinfafslichkeit und Popularität. Er selbst nimmt an, dafs diese Namen einer unmittelbaren Wahrnehmung der einfachen Empfindungselemente durch eine Art innerer Anschauung entsprungen seien, und glaubt durch diese auch sehr sichere unmittelbare Kenntnifs der reinen Rothempfindung, Weifsempfindung u. s. w. zu haben.

In seiner Veröffentlichung von 1887 hat er sogar die Möglichkeit discutirt, statt drei oder sechs einfacher Empfindungsprocesse deren noch mehr, vielleicht unendlich viele anzunehmen und eine entsprechende Menge von „Urvalenzen" für die einzelnen objectiven Lichtarten. Die geometrischen Darstellungen solcher Wirkungen giebt er dabei immer in solcher Weise, dafs thatsächlich alle diese Valenzen von drei unabhängigen Variablen abhängen. Dagegen über diese unabhängigen Variablen, die eigentlich das Wichtigste für den ganzen Zusammenhang des Gebietes sind, giebt er so gut wie keinen Aufschlufs, er sucht sie nur möglichst aus der physiologischen Sphäre zu entfernen. Ich selbst weifs mir diese ganze Reihe von Vorstellungen nur etwa so zu interpretiren, dafs eine beliebige Anzahl von „Sehsubstanzen" im Gehirn angenommen werden könnte, deren Erregungsstärke für jede eine besondere Funktion der drei Elementarerregungen wäre, jede unabhängig von den Erregungen der übrigen Sehsubstanzen, und jede für sich auch directer Wahrnehmung durch das Bewufstsein zugänglich.

Ich glaube nicht, daſs es in diesem Buche nöthig ist, sich eingehender mit so hypothetischen Ansichten zu beschäftigen.

Für die Farbenblindheit namentlich beansprucht Herr HERING den Ruhm, das Verständniſs derselben eröffnet zu haben.

Alle Dichromasie sucht er auf ein einziges Schema zu reduciren; die rothgrüne Sehsubstanz soll unempfindlich geworden sein. Die Unterschiede zwischen Rothblinden und Grünblinden sucht er auf verschiedene Färbungen der Augenmedien, theils des gelben Flecks der Netzhaut, theils der Krystallinse zurückzuführen. Die letzteren kommen höchstens bei kranken oder sehr alten Leuten vor, und sind auch da wohl bei übrigens brauchbaren Augen nie von der Stärke, daſs sie erhebliche Abweichungen in der Helligkeit verschiedener Theile des Spectrum hervorbringen könnten.

Die Färbung des gelben Flecks der Netzhaut macht sich in einem sehr beschränkten, aber allerdings wichtigen Theile des Sehfeldes geltend, und in einem schmalen Bande des Spectrum, wie oben bemerkt ist. Die wichtigsten Beobachtungen über die Abhängigkeit des Rothwerths und des Grünwerths von der Wellenlänge beziehen sich dagegen auf Farben, die der Absorption durch das gelbe Pigment nicht in merklichem Grade unterliegen. Im ganzen macht sich deshalb diese Pigmentirung auch nur bei solchen Versuchen subjectiv geltend, wo die Strahlen aus der Nähe der Linie F eine hervortretende Rolle spielen, wie bei der oben S. 354 erwähnten Mischung dieses Blaus mit Roth, welche, wenn sie im Fixationspunkte weiſs erscheint, schon in geringer Entfernung von demselben das Blau überwiegend zeigt. Es erscheint schon nach den bis jetzt vorliegenden Thatsachen sehr unwahrscheinlich, daſs sich die HERING'sche Theorie der Dichromasie durchführen lasse. Indessen sind weitere Beobachtungen in dieser Richtung doch noch wünschenswerth. Der Einfluſs, den die Färbung des gelben Flecks im individuellen Auge hat, wird sich durch Vergleichung von Farbenmischungen auf und dicht neben dem Centrum des Sehfeldes abschätzen lassen, und sicher wird sich constatiren lassen, wo ein solcher Einfluſs besteht, wo nicht.

306 Die Lehre von der Farbenmischung ging von den Erfahrungen der Maler über Mischung der Pigmente aus. Schon PLINIUS erwähnt, daſs die älteren griechischen Maler mit vier Farbstoffen alles darzustellen gewuſst hätten, während man zu seiner Zeit deren viel mehr besäſse, und doch nicht so viel wie jene leistete. Und doch ist auch in dem berühmten Gemälde der Aldobrandischen Hochzeit aus der Römerzeit der Aufwand von Farbstoffen sehr klein, wie DAVY's chemische Untersuchungen zeigten.[1] LEONARDO DA VINCI nennt auſser Schwarz und Weiſs, welche jedoch nicht im eigentlichen Sinne Farben wären, vier einfache Farben, nämlich Gelb, Grün, Blau und Roth; sonst fordert er noch an einer anderen Stelle für die Malerei Orange *(lionato)* und Violet *(morello, cioè pavonazzo)*. Daſs LEONARDO das Grün stets als einfache Farbe zählt, obgleich er weiſs, daſs es gemischt werden kann, widerspricht eigentlich seiner Definition der einfachen Farben als solcher, die nicht gemischt werden können. Sollte er bemerkt haben, daſs das ungemischte Grün viel lebhafter ist als das gemischte? Die nachher gewöhnlich angenommenen drei Grundfarben Roth, Gelb und Blau findet man schon vor NEWTON's Untersuchungen, als eine damals allgemein anerkannte wissenschaftliche Thatsache erwähnt in einem Versuch zur Classification der Farben und Farbstoffe von WALLER. Darin, daſs man drei Grundfarben ausreichend findet, liegt schon die Anerkennung de

---

[1] H. DAVY, *Gilbert's Annalen.* LII, 1.

Thatsache, dafs die Beschaffenheit des farbigen Lichtes eine Function nur dreier Variablen ist; auf die Wahl der Grundfarben, welche erst viel später Wünsch und Thomas Young zu ändern suchten, hatten die Erfahrungen über gemischte Pigmente den entschiedensten Einflufs. Man meint aus Gelb und Blau Grün zusammensetzen zu können. Das ist richtig, wenn man es auf die Pigmente bezieht, aber nicht für farbiges Licht.

Newton setzte zuerst farbiges Licht zusammen, und zwar das des prismatischen Spectrum, benutzte aber daneben für Aufstellung der Regel der Farbenmischung die Mischung farbiger Pulver, und legte auf die Abweichungen zwischen beiden, die ihm nicht ganz entgangen zu sein scheinen, kein grofses Gewicht, da ihm die experimentellen Hülfsmittel noch fehlten, die Sache genauer zu verfolgen. Er erwähnt, dafs aus *subflavum* und *cyaneum* (d. h. grünlich Gelb und Cyanblau) nur ein weifsliches Grün zu erzeugen 307
sei. Newton stellte auch zuerst einen genaueren Ausdruck des Gesetzes der Farbenmischung hin, indem er es auf die oben besprochene graphische Darstellung und Schwerpunktsconstructionen zurückführte. Sein Gesetz entsprach den vorliegenden experimentellen Erfahrungen, eine genauere Prüfung hat er nicht versucht. Seine Darstellung des Systems der Farben auf einem Kreise war eine Erweiterung des Systems dreier objectiver Grundfarben; über das Ungenügende des letzteren Systems spricht er sich aber nirgends aus.

Dagegen kehrten die späteren Physiker bei ihren Versuchen, das System der Farben zu ordnen, meist zum System der drei Grundfarben zurück, so le Blond 1735, du Fay 1737, Tobias Mayer 1758, J. H. Lambert 1772, D. R. Hay, J. D. Forbes. Ihre Farbensysteme sind praktisch ausgeführt meist in der Weise, dafs sie bestimmte Pigmente nach bestimmten Gewichtsverhältnissen mischten. Mayer brauchte Zinnober, Königsgelb (Chromsaures Bleioxyd) und Bergblau (Kobaltglas), Lambert Carmin, Gummigutt, Berliner Blau (Eisencyanürcyanid). Letzterer bestimmte auch die Sättigungsverhältnisse dieser Farbstoffe, indem er die Gewichtsmengen bestimmte, in denen je zwei gemischt werden müssen, um eine Mischfarbe hervorzubringen, welche gleich weit von den Farben ihrer beiden Bestandtheile entfernt sei. Er mufste nehmen von Carmin 1 Theil, von Berlinerblau 3 Theile, von Gummigutt 10 Theile. Letztere Gewichte wählte er dann als Maafseinheiten bei Anfertigung der Mischungen. Übrigens fallen die Mischungen so weit von einander entfernter Farbstoffe immer ziemlich unansehnlich und grau aus.

Neuere Beobachtungen, welche unter Umständen, wo Mischung farbigen Lichts zu erwarten war, von den bisherigen Regeln abweichende Resultate lieferten, machten 1829 Plateau am Farbenkreisel, Volkmann 1838 an Zerstreuungsbildern, ohne aber dadurch zu einer näheren Untersuchung des Widerspruchs geführt zu werden. Ich selbst wurde durch Versuche über Mischung der Spectralfarben zu der Erkenntnifs geführt, dafs Mischung des Lichts und Mischung von Pigmenten verschiedene Resultate gebe, und erörterte die Gründe davon. Ich hatte hierbei die Mischung der Spectralfarben mittels des *v*förmigen Spaltes benutzt und nur aus Gelb und Indigoblau Weifs erhalten, nicht aus irgend welchen anderen Paaren von Spectralfarben. Dies widersprach dem Mischungsgesetz von Newton und veranlafste Grassmann zu einer ausführlichen Erörterung der Principien von Newton's Mischungsgesetz. Die Untersuchung der gemischten Spectralfarben nach einer besseren Methode, welche ich ausführte, hob die scheinbaren Widersprüche gegen Newton's Regel auf, so weit sie sich auf die Anwendbarkeit der Schwerpunktsconstructionen beziehen; dagegen mufste ich freilich die Kreisform des Farbenfeldes Grassmann gegenüber für unerwiesen erklären. Endlich sind die Principien von Newton's Mischungsgesetz experimentell geprüft worden 1857 durch Maxwell.

Th. Young's Theorie der Farbenempfindungen ist wie so vieles, was dieser bewundérungswürdige Forscher seiner Zeit voraneilend geleistet hatte, unbeachtet liegen geblieben, bis ich selbst und Maxwell wieder auf sie aufmerksam machten. Man begnügte

sich mit der Annahme, dafs der Sehnerv verschiedenartiger Empfindungen fähig sei ohne weiter nach dem Grunde zu suchen, warum das System dieser Empfindungen eben ein solches sei, wie es das Auge darbietet.

n Bald nach der Veröffentlichung der ersten Auflage dieses Buches erschien die Farbentheorie von E. Hering.[1]

309

§ 21. Von der Intensität der Lichtempfindung.

Die Intensität des objectiven Lichts ist gleich zu setzen der lebendigen Kraft der Ätherbewegung, und diese bei einfarbigem, geradlinig polarisirten Lichte proportional dem Quadrate der gröfsten Geschwindigkeit der Äthertheilchen. Wenn Licht aus verschiedener Quelle oder von verschiedener Polarisationsrichtung zusammentrifft, wird die Gesammt-Intensität gleich der Summe der einzelnen Intensitäten.

Wir wollen zunächst untersuchen, wie die Intensität der Lichtempfindung sich verhält, wenn die Intensität des objectiven Lichts sich verändert, ohne dafs die Farbe geändert wird. Wir können diese Verhältnisse an weifsem Lichte studiren; einfaches Licht verhält sich nicht wesentlich anders.

Zunächst ist nachzuweisen, dafs die kleinsten wahrnehmbaren Abstufungen der Lichtempfindung nicht gleichen Differenzen der objectiven Helligkeit (S. 209) entsprechen. Man beleuchte eine weifse Tafel mit einem schwachen Lichte, welches die Helligkeit h erzeuge, und stelle einen Körper auf, der auf die Tafel einen Schatten wirft, so dafs innerhalb der Grenzen des Schattens die Tafel von jenem ersten Lichte nicht getroffen wird. Dann bringe man ein zweites Licht hinzu von der Helligeit H, welche dadurch verändert werden kann, dafs man dies zweite Licht der Tafel nähert und entfernt. Dann ist die objective Helligkeit im Schatten H, aufserhalb des Schattens $H + h$.

Ist nun die Helligkeit H sehr gering, so wird das Auge den Schatten erkennen, d. h. die Helligkeit H von der $H + h$ unterscheiden. Aber der Versuch lehrt, dafs wie grofs auch h sein mag, doch stets eine gröfsere Helligkeit H existirt, bei welcher der Schatten unsichtbar wird, bei welcher die Differenz h der objectiven Helligkeit also nicht mehr eine wahrnehmbare Steigerung der Empfindung hervorbringt.

Ein Licht von der Stärke des Mondlichts wirft einen wahrnehmbaren Schatten auf weifses Papier. Bringt man eine gut brennende Lampe nahe
310 an das Blatt, so verschwindet der Schatten. Wiederum verschwindet der Schatten, den das Lampenlicht wirft, wenn man die Sonne auf das Papier scheinen läfst. Ja, die Helligkeit einer Flammenfläche einer gut brennenden Lampe mit ringförmigem Dochte ist für das Auge kaum noch von der doppelten Helligkeit zu unterscheiden. Es sind solche Flammen hinreichend

[1] E. Hering. *Sitzungsber. der Wiener Akad.* vom 15. Mai 1874.
— *Zur Erklärung der Farbenblindheit. Lotos, Neue Folge* I. 1880. Prag.
— *Kritik einer Abhdlg. von Donders. Lotos. Neue Folge* II. 1882. Prag.
— *Individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes. Lotos. Neue Folge* VI. Prag. 1885.
— *Newton's Gesetz der Farbenmischung. Lotos. Neue Folge* Bd. VII. Prag. 1887.
— *Pflüger's Archiv* Bd. XLI S. 29. 1887. Bd. XLII S. 488. 1888.

inter die erste schiebt. Man erkennt dann die zweite in ihren Umrissen anz genau. Sieht man aber mit blofsem Auge nach den beiden Flammen in, so erkennt man die zweite wenigstens durch den hellsten Theil der rsten nicht mehr, oder höchstens nachdem man durch längeres Hinsehen ie Intensität der Empfindung abgestumpft hat. Ebenso wenig erkennt man leicht mit blofsem Auge, dafs der Rand der Flammenfläche, wo man er Länge nach durch die glühende Gasschicht hindurchsieht, ein sehr viel itensiveres Licht, als die Mitte hat, wo man die kleinste Tiefe der glühenen Schicht vor sich hat. Auch dies wird ebenfalls leicht sichtbar, wenn man e Flamme in einem unbelegten Glase gespiegelt betrachtet. Dahin gehört rner auch die Thatsache, dafs die Sterne bei Tage verschwinden, dafs ilder hinter einer Glasplatte verschwinden, wenn die Glasplatte spiegelt s. w.

Während wir bisher die Differenz der Helligkeit constant erhielten, und ır den absoluten Werth der ganzen Helligkeit veränderten, können wir ıch die Differenz in demselben Verhältnifs wachsen lassen, wie die Helligit wächst. Man bringe auf einer durchsichtigen Glastafel eine Zeichnung it sehr verdünnter schwarzer Tuschfarbe an, oder lasse sie mit einem hwachen Hauch von Lampenrufs anlaufen, und zeichne darin; oder esser, man suche ein photographisches auf durchsichtigem Glase ausgeführtes ild, was theils sehr zarte, theils stärkere Schatten hat, und halte eine lche Zeichnung vor einen hellen Grund von immer steigender Helligkeit. an wird finden, dafs bei geringer Helligkeit des Grundes sehr zarte chatten unsichtbar sind, bei gröfserer sichtbar werden, dann bei immer eigender Helligkeit eine ziemliche Zeit hindurch ungefähr denselben Grad n Deutlichkeit erhalten, endlich aber wieder anfangen zu verschwinden. stärker der Schatten in der Zeichnung ist, desto kleiner ist die Helligit, wo er anfängt sichtbar zu werden, und desto gröfser ist die Helligkeit, elche angewendet werden mufs, damit er wieder verschwinde. Nun ist die jective Helligkeit des Schattens um einen ganz bestimmten Theil der ganzen elligkeit kleiner, als die Helligkeit der lichten Stellen. Nennen wir letzre H, so können wir die Helligkeit des Schattens gleich $(1 - \alpha) H$ setzen, α einen für dieselbe Stelle der Zeichnung constanten ächten Bruch beichnet, so dafs also die Differenz der Helligkeit zwischen der betreffenden elle der Zeichnung und dem hellen Grunde, welche αH ist, mit der Helligit H gleichzeitig gröfser und kleiner wird. Trotzdem also bei steigender elligkeit die Unterschiede der absoluten Helligkeit zwischen den verschieden schatteten Theilen der Zeichnung gröfser werden, entsprechen diesen terschieden nicht mehr wahrnehmbare Unterschiede der Empfindung. raus geht also hervor, dafs es gewisse mittlere Grade der Lichtstärke ben mufs, innerhalb welcher das Auge am empfindlichsten ist für eine ränderung der Helligkeit um kleine Bruchtheile ihrer Gröfse. Es sind es die von uns gewöhnlich beim Lesen, Schreiben, Arbeiten gebrauchten, serem Auge angenehmsten und bequemsten Grade der Helligkeit. Aber 311

innerhalb weiter Grenzen, etwa von derjenigen Beleuchtung ab, bei welcher man ohne Schwierigkeit lesen kann, bis etwa zu der Helligkeit einer von den directen Sonnenstrahlen getroffenen weifsen Fläche ist die Gröfse der Empfindlichkeit nahezu constant, wie sich denn überhaupt der Werth continuirlich veränderlicher Functionen in der Nähe ihres Maximum verhältnifsmäfsig wenig zu verändern pflegt. Es geht dies schon für die gewöhnliche Beobachtung aus dem Umstande hervor, dafs man Gemälde und Zeichnungen, welche mannigfaltige Abstufungen des Schattens darbieten, ziemlich gleich gut bei Kerzenlicht und bei starkem Tageslicht erkennt, dafs nur ausnahmsweise bei starker Beleuchtung neue Gegenstände und Schattenstufen darauf sichtbar werden, die man nicht schon bei schwacher Beleuchtung gesehen hätte. Ebenso erwähnt schon Fechner, dafs wenn man durch verdunkelnde graue Gläser nach hellen Gegenständen, z. B. dem Himmel mit hellen Wolken hinsieht, dadurch keine Abstufungen des Schattens verschwinden, die man vorher ge-
n sehen hätte, oder neu sichtbar werden. In den meisten Fällen ist dies richtig, für sehr zarte Schatten jedoch nicht.

311 Dasselbe ergeben genauer die photometrischen Messungen. Es hat sich bei diesen Messungen im Allgemeinen gezeigt, dafs bei sehr verschiedenen Graden der Helligkeit die Differenz der Helligkeit, welche noch unterschieden werden konnte, nahe denselben Bruchtheil der ganzen Helligkeit bildete. Die Gröfse dieses Bruchtheils ist von Bouguer und Fechner in der Weise aufgesucht worden, dafs dieselben eine weifse Tafel mit zwei gleichen Kerzenflammen beleuchteten, und einen Stab davor aufstellten, der nun zwei Schatten auf die Tafel warf. Das eine Licht wurde dann so weit entfernt, bis der entsprechende Schatten aufhörte sichtbar zu sein. Ist a die Entfernung des näheren Lichts von der Tafel, b die Entfernung des entfernteren, so verhält sich die Beleuchtungsstärke der Tafel durch beide Lichter wie $a^2 : b^2$. Bouguer fand dafs das eine Licht etwa 8mal, Fechner mit Hülfe von Volkmann und anderen Beobachtern, dafs es ungefähr 10mal so weit, als das andere entfernt sein müsse, damit der Schatten verschwinde, so dafs Bouguer also $\frac{1}{64}$ der Lichtstärke, Fechner's Freunde dagegen $\frac{1}{100}$ noch unterscheiden konnten. Arago bemerkte, dafs bei Bewegung des Objects noch feinere Unterschiede erkannt werden konnten, und kam unter günstigsten Bedingungen bis auf $\frac{1}{131}$. Masson wendete zur Prüfung rotirende weifse Scheiben mit kleinen schwarzen Sectoren an. Er fand, dafs bei schwachem Gesicht zuweilen nur Unterschiede von $\frac{1}{50}$ erkannt wurden, bei guten Augen zuweilen aber noch weniger als $\frac{1}{120}$. Indessen erfordern die Messungen mit den rotirenden Scheiben gröfsere Vorsicht; darüber später mehr. Er fand aufserdem, dafs die Grenze der

npfindlichkeit auch für instantane Beleuchtung durch den elektrischen unken von der Lichtstärke ziemlich unabhängig ist. Bei dieser Beleuchng werden nämlich, wenn sie stark genug ist, die schwarzen und weifsen ctoren für einen Augenblick sichtbar. Läfst man nun die rotirende Scheibe 312
uernd von einer Lampe mit der Helligkeit L beleuchten und dann auch von nem elektrischen Funken mit der Helligkeit l, so hat man für einen Augenick am Orte der weifsen Sectoren die Helligkeit $L + l$, am Orte der schwarzen ır die Helligkeit L, und man wird die Sectoren nur erkennen, wenn $L + l$ n L unterschieden werden kann. Veränderte man die Entfernung beider Lichtellen von der Scheibe, so mufsten L und l proportional verändert werden, n an der Grenze der Empfindlichkeit des Auges zu bleiben, woraus denn gt, dafs dasselbe Gesetz wie für constantes Licht, auch für die Wahrhmbarkeit instantaner Lichtunterschiede gilt.

Fechner hat die Thatsache, dafs innerhalb eines grofsen Intervalls der elligkeit die kleinsten wahrnehmbaren Differenzen der Lichtempfindung ahehin) constanten Bruchtheilen der Helligkeit entsprechen, zur Aufstellung nes allgemeineren Gesetzes benutzt, welches er als ein psychophysisches zeichnet, und welches auch in anderen Gebieten der Sinnesempfindungen h bewährt. So erscheinen uns namentlich Differenzen der Tonhöhe als isikalisch gleich grofs, wenn die Differenzen der Schwingungsdauer gleiche heile der ganzen Schwingungsdauer betragen. Ähnlich verhält es sich rner nach E. H. Weber's Untersuchungen mit unserer Fähigkeit, die fferenzen von Gewichten und Lineargröfsen zu erkennen. Wir wir nun Tonhöhe messen durch den Logarithmus der Schwingungszahl, so erscheint passend die Empfindungsstärke ähnlich zu messen, indem wir in diesem in jenem Falle gleich deutlich wahrnehmbare Unterschiede dH der Emdungsstärke E als gleich grofs ansehen. Dann wäre also innerhalb weiter enzen der objectiven Helligkeit H nahehin

$$dE = A.\frac{dH}{H}$$

A eine Constante ist. Daraus folgt durch Integration

$$E = A.\log H + C,$$

C eine zweite Constante bezeichnet. Wenn wir für die Helligkeit h die pfindungsstärke gleich e setzen, wird die letztere Gleichung:

$$E - e = A.\log\frac{H}{h}.$$

Fechner hat gezeigt, dafs diese Art, wie das Auge Helligkeiten mifst, h bei der Aufstellung der Sterngröfsen einen bestimmenden Einflufs geübt Die Gröfsenklassen der Sterne hat man bestimmt nach dem Eindruck, sie auf das menschliche Auge machen, zunächst ohne photometrische ssungen der objectiven Lichtmenge. Erst in neuerer Zeit sind letztere zugekommen, und erlauben nun die objective Lichtmenge mit der ange-

nommenen Gröfsenklasse zu vergleichen. FECHNER hat eine solche Vergleichung nach den photometrischen Bestimmungen von J. HERSCHEL und STEINHEIL ausgeführt, und findet die Gröfsenklasse G ausgedrückt, für HERSCHEL's Messungen durch die Formel

$$G = 1 - 2{,}8540 \log H$$

313 für STEINHEIL's Messungen durch

$$G = 2{,}3114 - 2{,}3168 \log H,$$

welche Formeln mit den oben aufgestellten in Übereinstimmung sind, wenn man bemerkt, dafs die Gröfsenklassen steigen, wenn die Lichtmengen fallen, und ebenso findet sich sehr genügende Übereinstimmung zwischen den Formeln und den Beobachtungen. Auch für die Messungen von STRUVE hat FECHNER eine hinreichende Übereinstimmung mit seinem Gesetze nachgewiesen. Dasselbe Gesetz ist übrigens auch von BABINET[1] ausgesprochen, welcher die Zahl, die dem Coefficienten von $\log H$ in FECHNER's Formel entspricht, zu 2,5 angiebt, nach Beobachtungen von JOHNSON und POGSON.

Dafs das hier aufgestellte Gesetz für die Empfindungsstärke nicht bei sehr kleinen und nicht bei sehr grofsen Helligkeiten gilt, erklärt FECHNER durch den Einflufs von störenden Nebenumständen. Bei sehr geringen Helligkeiten mufs sich nämlich der Einflufs des subjectiven Eigenlichts des Auges merklich machen. Neben der Reizung durch äufseres Licht ist immer noch eine Reizung durch innere Einflüsse vorhanden, deren Gröfse wir gleich setzen können der Reizung durch ein Licht von der Helligkeit H_0. Dann wird also genauer der Ausdruck für die kleinsten wahrnehmbaren Stufen der Empfindungsstärke

$$dE = A \frac{dH}{H + H_0}$$

oder

$$dH = \frac{1}{A} (H + H_0)\, dE,$$

woraus folgt, dafs die Steigerung der Helligkeit etwas gröfser sein mufs, um wahrgenommen zu werden, als wenn H_0 gleich Null wäre, und namentlich wird der Unterschied für kleine Werthe von H bedeutend werden.

n Die Übereinstimmung mit den Beobachtungen wird allerdings durch diese Annahme von FECHNER erheblich verbessert, und läfst sich bis zu viel geringeren Helligkeiten verfolgen, aber vollständig wird sie nicht weder für die höchsten noch für die niedrigsten Helligkeiten. In der That giebt auch die innere Erregung der Netzhaut keine gleichmäfsige Lichtempfindung, sondern das sogenannte Eigenlicht der Netzhaut erscheint in ganz dunklem Grunde immer als ein fleckiger, ungleichmäfsiger Lichtschimmer, der theils breitere, theils aber auch ganz feinkörnige hellere und dunklere Flecken u

[1] BABINET. *Comptes rendus.* Tome 44. p. 358. 1857.

eichnungen zeigt. Ja, was man für gewöhnlich überhaupt von dem Eigenlicht ahrnimmt, sind eigentlich nur diese Differenzen seiner Helligkeit, während ie gleichmäfsige Empfindung des Grundes, die vielleicht garnicht so schwach st, nicht wahrgenommen wird, so lange sie nicht anderweitig verändert wird. n dieser Beziehung sind die Erfahrungen über die Verdunkelung des dunkelten Gesichtsfeldes durch den absteigenden elektrischen Strom (S. 245) von Vichtigkeit. Ich werde weiter unten den Einflufs einer solchen ungleichiäfsigen Beleuchtung discutiren. Die Versuche von Fechner und Volkann, mit Hülfe der besprochenen Form des Fechner'schen Gesetzes die ntensität des Eigenlichtes zu finden, halte ich für verfrüht. Auch haben ie offenbar viel zu kleine Werthe ergeben.

Die Fleckigkeit des Eigenlichts macht sich auch sehr geltend, wenn ian versucht, kleine, durch schwache Beleuchtungsunterschiede hervorgeobene Objecte zu erkennen. Man wird dieselben in vielen Fällen nicht on Flecken des Eigenlichts zu unterscheiden wissen. Hat dagegen das bject bei derselben äufseren Beleuchtung eine gröfsere Ausdehnung im esichtsfelde, so wird man auf einer solchen gröfseren Fläche trotz der lecken leichter erkennen können, dafs ihre mittlere Helligkeit einen kleinen berschufs über die mittlere Helligkeit des benachbarten Grundes hat, und afs die scheinbare Lage des helleren Flecks im Raume bei Bewegungen des uges unverändert bleibt. Gröfsere Objecte erkennt man also bei kleinen Beuchtungsunterschieden leichter als kleinere. So kann man z. B. bei hwacher Beleuchtung oft genug nicht mehr lesen, trotzdem man den Umfs der weifsen Seite des Buchs, und vielleicht auch die einzelnen Zeilen anz wohl erkennt. Ich finde es dann meist möglich, wenigstens die gröberen üge des Lichtstaubs, die ich beim Schliefsen der Augen im dunklen Felde or mir habe, auch auf dem Papiere zu erkennen.

Übrigens ist zu bemerken, dafs die Hypothese von dem netzförmigen usammenhange der Nervenenden in der Netzhaut, die ich auf S. 264 ertert habe, ebenfalls die Wahrnehmung kleiner örtlicher Unterschiede von er Wahrnehmung der Intensitätsdifferenz der Erregungen benachbarter ervenfasern abhängig macht, und zu dem Schlusse führt, dafs bei abehmender Empfindlichkeit für Bruchtheile der Lichtintensität auch die einheit der Unterscheidung der Örter im Gesichtsfelde beeinträchtigt erden mufs.

Wegen der Existenz des Eigenlichts mufs nun immer eine bestimmte jective Beleuchtungsstärke eintreten, um selbst im Gegensatze gegen einen inzlich unbeleuchteten Grund überhaupt wahrgenommen zu werden. Noch einere Grade der Helligkeit üben keine wahrnehmbare Wirkung auf die etzhaut aus. Diese kleinste unterscheidbare Beleuchtung hat Fechner e Reizschwelle genannt. Wahrnehmbar sind nur Helligkeiten, welche er die Reizschwelle hinausgehen.

Die kleine Zunahme der Helligkeit dH dagegen, welche nöthig ist, um

bei der Helligkeit H die erste wahrnehmbare Zunahme dieser Helligkeit zu bewirken, nennt er die Unterschiedschwelle.

314 Die Abweichung von dem Gesetze an der oberen Grenze könnte man mit Fechner wohl darauf schieben, dafs das Organ zu leiden beginnt. Die inneren Veränderungen im Nerven, welche den Eindruck des Reizes auf das Gehirn übertragen, können eben eine bestimmte Gröfse nicht überschreiten, ohne das Organ zu schädigen, und jeder Wirkung des Reizes ist daher eine obere Grenze gesetzt, welcher ein Maximum der Empfindungsstärke entsprechen mufs.

Übrigens ist denn doch zu bemerken, dafs diese Umstände, welche es auch sein mögen, die an der oberen und unteren Grenze der Helligkeit die Gültigkeit von Fechner's Gesetz stören, auch in den mittleren Graden der Helligkeit ihren Einflufs bei genauer Beobachtung geltend machen, was natürlich nicht verhindert, dafs jenes Gesetz als eine erste Annäherung an die Wahrheit stehen bleibt. Allerdings sind die meisten Gemälde, Zeichnungen und Photographien von den gewöhnlich vorkommenden Gegenständen der Darstellung gleich gut bei sehr verschiedenen Graden der Lichtstärke zu erkennen. Aber, wie oben bemerkt, findet man in Photographien Schattenabstufungen, die nur bei einer bestimmten und eng begrenzten Lichtstärke ganz deutlich hervortreten. Dazu gehören namentlich Landschaftsbilder, in denen sehr ferne im Nebel halb verschwimmende Bergketten dargestellt sind, am auffallendsten aber war es mir bei einigen stereoskopischen Photographien von Alpenlandschaften auf Glas, in denen sich Theile der Firnmeere oder ganz mit Schnee bedeckte Bergspitzen zeigen. Solche Schneeflächen sehen bei Lampenlicht oder mäfsig starkem Tageslicht wie einförmige weifse Flächen aus, während sie gegen den hellen Himmel gekehrt noch zarte Schatten zeigen, die eine Modellirung der weifsen Flächen andeuten, und die bei noch stärkerem Lichte wieder verschwinden. In Photographien kann man so zarte Schatten natürlich nur durch Zufall finden, in Gemälden oder Zeichnungen kann man sie nicht erwarten, dagegen geben die ro tirenden Scheiben ein leichtes Mittel ab, sehr zarte Schatten zu erzeugen, deren Lichtstärke in jedem gewünschten Verhältnis zur Helligkeit des weifsen Grundes steht, wie sie denn auch Masson schon zu photometrischen Versuchen gebraucht hat. Leicht zu erhalten sind solche Schatten, wenn man der Scheibe die Zeichnung wie in *Fig. 1*[53] giebt. Man zieht längs eines oder zweier Radien mit einer Ziehfeder einen unterbrochenen Strich, dessen Theile alle die gleiche Dicke haben. Bei der Rotation der Scheibe geben diese schwarzen Striche gra

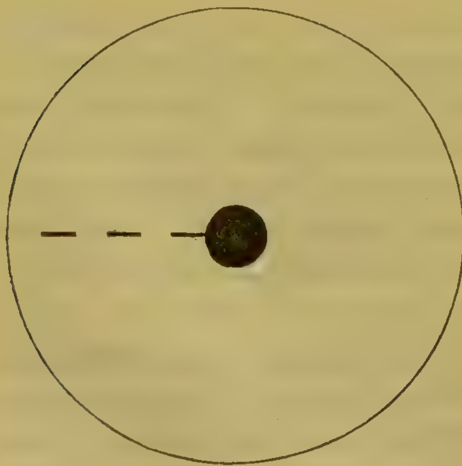


Fig. 153.

reise auf der Scheibe. Ist d die Breite der Striche, r dieEntfernung eines unktes eines schwarzen Strichs vom Mittelpunkte der Scheibe, so ist die elligkeit h des grauen Streifens, der bei der Rotation entsteht, wenn wir ie Helligkeit der Scheibe gleich 1 setzen

$$h = 1 - \frac{d}{2r\pi}.$$

ie grauen Streifen unterscheiden sich also desto weniger von der Helligkeit er Scheibe, je gröfser r ist; die inneren sind dunkler, die äufseren heller nd man erhält eine Folge sehr zarter Abstufungen. Beim Versuche hat an nur zu untersuchen, wie weit die Ränder der grauen Streifen noch zu rkennen sind. Man erkennt sie besser, wenn man mit dem Blicke zu den erschiedenen Stellen eines Kreises hin- und hergeht, als wenn man eine telle fixirt; im letzteren Falle verschwinden die schwächeren Kreise schnell ieder, auch wenn man sie vorher gesehen hat. Doch erkennt man sie ge- öhnlich auch nicht gleich beim ersten Hinsehen nach der Scheibe, sondern an mufs letztere erst eine Zeitlang aufmerksam betrachten. Übrigens mufs, an darauf achten, dafs die Scheibe schnell genug umläuft, damit die grauen reise ganz continuirlich erscheinen, und nicht flimmern; auch sind schnelle n
ewegungen des Blicks zu vermeidcn, welche die Striche sichtbar machen. uf der flimmernden Scheibe erkennt man auch die schwächeren Kreise, weil ie Verdunkelung sich dann nicht mehr gleichmäfsig auf die ganze Zwischen- eit von zwei Vorübergängen des schwarzen Streifens vertheilt, sondern un- ittelbar nach dem Vorübergange gröfser, nachher schwächer ist, als sie bei eichmäfsiger Vertheilung sein sollte. Es scheint mir deshalb nothwendig, iese Messungen von Unterschiedsschwellen nur an Scheiben auszuführen, die el schneller umlaufen, als zur Beseitigung des Flimmerns nöthig ist. Ich abe deshalb auch nicht mehr volles Vertrauen in meine eigenen früheren lessungen, die ich in der ersten Auflage dieses Werkes mitgetheilt habe, da h mit dem gebrauchten Apparate die vollkommene Gleichmäfsigkeit der inge nur noch eben erreichen konnte. Ich fand damals, dafs ich an 315
ellen Sommertagen am Fenster bei Bewegung des Blicks noch einen Rand harf sehen konnte, wo der Unterschied der Helligkeit $\frac{1}{133}$ war, und ver- aschen erschien mir auch noch ein Rand von $\frac{1}{150}$, auf Augenblicke so- ar einer von $\frac{1}{167}$ Unterschied. Mühsamer und anstrengender erschienen ie Wahrnehmungen bis zu $\frac{1}{150}$ bei directer Sonnenbeleuchtung der cheibe. In der Mitte des Zimmers konnte ich zu derselben Zeit nur änder von $\frac{1}{117}$ Unterschied wahrnehmen, den von $\frac{1}{133}$ nur selten und un- estimmt.

Dasselbe Verhältnifs ist später durch andre Beobachter bestätigt worden. Sehr deutlich zeigt es sich in den Versuchen von Herrn Ebbinghaus.[1] Derselbe hatte sich eine Reihe von grauen Papieren hergestellt, welche 53 verschiedene, möglichst gleich breit gemachte Helligkeitsstufen zwischen Schwarz und Weiss darstellten. Die objectiven Helligkeiten wurden mit Hülfe des Farbenkreisels zahlenmäfsig bestimmt, und dann suchte der Beobachter Paare von Papierscheibchen dieser Art aus verschiedenen Gegenden der Scala, welche ihm gleich grofse Unterschiede zu haben schienen. Auch hierbei fand sich, dafs die objectiven Helligkeitsunterschiede an den Enden der Scala gröfser ausfielen, als in der Mitte. Zum Beispiel bei einem Versuch, die ganze Scala in sieben subjectiv gleiche Helligkeitsstufen zu theilen, ergaben sich die Quotienten von je zwei auf einander folgenden Helligkeiten von unten nach oben in folgender Reihe

2,25; 2,11; 2,05; 1,77; 1,72; 1,68; 1,98.

Wir werden dieselbe Thatsache bestätigt finden bei den später zu erwähnenden Versuchen der Herren A. König und E. Brodhun über die Unterschiedsempfindlichkeiten für das Licht der Spectralfarben.

Für die objective Wahrnehmung der uns umgebenden Gegenstände ist das Weber'sche Gesetz von grofser Wichtigkeit, namentlich für die richtige Auffassung der Modellirung ihrer Oberfläche. Wenn diese Fläche Wölbungen, schwache Vorsprünge oder Vertiefungen hat, so verrathen sich diese in der Regel durch entsprechende Abänderungen der Helligkeit. Die dem Licht zugekehrten Theile der Oberfläche sind heller beleuchtet, als die mehr oder weniger seitwärts gewendeten, geschweige denn die abgekehrten. Wenn die beleuchtende Fläche sehr ausgedehnt ist, wie der Tageshimmel, sind diese Unterschiede von Schatten und Licht oft sehr zart, und doch geben sie einen sehr deutlichen Eindruck der Form der Fläche, wie man besonders an guten Gemälden und Photographien erkennen kann, wo nur dieses Hülfsmittel zur Bezeichnung der Raumform der dargestellten Gegenstände übrig geblieben ist. Ebenso sind die Schlagschatten von grofser Wichtigkeit, da sie ein untrügliches Zeichen dafür geben, dafs der Schatten werfende Körper von der Richtung der Lichtquelle aus gesehn, sich vor der den Schatten empfangenden Fläche befindet. Auch die Schlagschatten können auf sehr zarte Andeutungen zurückgeführt sein, wenn die Lichtquelle sehr ausgedehnt ist.

Nun wird bei allen diesen Beschattungen die Lichtintensität der hellsten Theile in den beschatteten um einen gewissen Bruchtheil vermindert, welcher bei unveränderter Lage und Form der Lichtquelle unabhängig ist von der Intensität der Lichtquelle. Daraus folgt also, dafs innerhalb des sehr breiten Gebietes der Lichtstärken, für welche in hinreichender Annäherung das psychophysische Gesetz gilt, die Deutlichkeit der Wahrnehmung dieser Schatten und daher auch die Deutlichkeit der Modellirung der Ober-

[1] H. Ebbinghaus, *Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin.* Sitzung vom 1. Dec. 1887. S. 995.

ichen fast unabhängig ist von der absoluten Lichtstärke. Wesentlich darauf ruht es, dafs ein geschickter Maler auf den verhältnifsmäfsig schwach beuchteten Flächen eines in einem Zimmer hängenden Gemäldes sowohl den indruck der von grellem Sonnenlicht wie von schwachem Mondlicht behienenen Gegenstände gut nachahmt, obgleich er weder so hohe Lichtärken anwenden kann, wie die Wirklichkeit bei ersterem, noch so tiefe unkelheit, wie sie sie bei letzterem zeigt.

Nähert sich die Lichtstärke aber ihrer oberen oder unteren Grenze, o die Unterschiedsschwellen, die gleich deutlicher Empfindung entsprechen, achsen, so wird die Unterscheidung der zarten Schatten, und damit auch ie der Modellirung der Oberflächen undeutlicher. Diejenige mittlere elligkeit also, welche die gröfste Feinheit in der Wahrnehmung kleinster elligkeitsunterschiede gewährt, ist auch diejenige, bei der wir die feinste 'ahrnehmung der Modellirung der uns gegenüberstehenden Körperoberichen haben.[1]

Noch in anderer Beziehung kommt es auf die Helligkeit für die Deutchkeit des Sehens an, nämlich bei der Unterscheidung sehr kleiner Objecte. ben ist schon erwähnt, dafs die Unterscheidung kleiner Gegenstände, B. der Buchstaben eines Buches mühsamer wird bei sehr grofsen, wie ei sehr kleinen Helligkeiten, während sie in breiten Stufen mittlerer elligkeit gleich leicht merklich ist. Der Unterschied bleibt bestehen, ich wenn man durch eine Öffnung sieht, die enger ist als die Pupille, und ian dadurch die breiteren Zerstreuungskreise, die bei weiter Pupille in hwacher Beleuchtung, wie die Diffractionserscheinungen und entoptischen ilder, die bei enger Pupille in starkem Licht entstehen könnten, unverändert hält. Sehr feine dunkle Objecte auf hellem Grunde erscheinen überaupt nur als feine schattige Flecke, selbst wenn sie sich auf einem einelnen Zapfen des Netzhautcentrum abbilden. Sobald ihr optisches Bild leiner ist, als der Querschnitt des Zapfens, wird durch das dunkle Bild nur in Bruchtheil des Lichtes für diesen Zapfen weggenommen, und es kommt lso darauf an diese Verminderung um einen Bruchtheil wahrzunehmen. anz ähnlich verhält es sich übrigens auch unter der Annahme des ommunicirenden Geflechts von Nervenverästelungen (s. S. 264).

Dadurch erlangen die Abstufungen der Helligkeit und ihre Wahrnehmarkeit eine grofse praktische Wichtigkeit auch für die Wahrnehmung der ormen und örtlichen Unterschiede im Gesichtsfelde, und wir sind deshalb ielfach gezwungen auf die Helligkeit der Beleuchtung zu achten, und issen auch immer unmittelbar, ob sie zu grofs oder zu klein für das ehen feiner Objecte sei, und durch welche Art der Änderung wir sie beuemer machen könnten. Dadurch ist also auch ein bestimmter Grad der

---

[1] Vergleiche: H. HELMHOLTZ, *Populäre wissenschaftliche Vorträge.* Braunschweig 1876. Heft III, o. 3, *Optisches über Malerei: Helligkeitsstufen*; später wieder abgedruckt in des Autors „*Vorträge und den*" Bd. I. Braunschweig. 1884.

Helligkeit, die des deutlichsten Erkennens der Körperformen, als ausgezeichne vor allen andern charakterisirt. Er ist allerdings nicht sehr scharf abzu grenzen, weil innerhalb breiter Abstufungen der Helligkeit das Verhältnifs $dH:H$ nur sehr kleine Unterschiede zeigt; auch ist die subjective Stärk der Empfindung zeitweilig durch die Wirkung vorausgegangenen Licht grofsen Veränderungen unterworfen. Indessen wird sich bei dauernde Verweilen in gleichmässig heller Umgebung doch immer wieder der gleich Zustand des Auges für jeden Grad der Beleuchtung, und somit auch dieselb Empfindungsstärke herstellen müssen.

Es scheint mir wünschenswerth, diese Verhältnisse durch kurze Name zu bezeichnen. Je kleiner für eben noch wahrnehmbare Empfindungsunte schiede das Verhältnifs $dH:H$ ist, desto deutlicher erkennen wir die Ob jecte. Ich werde mir erlauben das umgekehrte Verhältnifs $\frac{H}{dH}$ als di Klarheit der Beleuchtungsstärke H zu bezeichnen, und diejenige Beleuc tung, bei welcher diese Gröfse ein Maximum wird, die Lichtstärk gröfster Klarheit, oder klarste Beleuchtung zu nennen.

316 Täuschungen, die auf dem FECHNER'schen Gesetze beruhe Durch die oben nachgewiesene Abhängigkeit der Empfindungsstärke von de Lichtstärke erklärt sich eine Thatsache, die mir aufgefallen ist, dafs nämlic in dunklen Nächten helle Gegenstände verhältnissmässig zu ihrer Umgebun viel heller erscheinen, als bei Tage, sodafs man sich zuweilen der Voraus setzung nicht erwehren kann, sie seien selbstleuchtend. Bei sehr geringe Lichtstärken können wir nämlich die Empfindungsstärke der Lichtstärk proportional setzen, bei starker Beleuchtung dagegen ist die Empfindun für hellere Objecte relativ schwächer. Da wir nun gewöhnt sind, die Hellig keit der uns bekannten Objecte bei starker Beleuchtung zu vergleichen, s erscheinen uns bei schwacher Beleuchtung die hellen Gegenstände relativ z hell, die dunkeln zu dunkel. Diesen Umstand benutzen auch die Maler i Mondscheinlandschaften, um den Eindruck schwacher Beleuchtung hervo zubringen. Sie heben die lichten Stellen viel greller heraus, als wenn s Tageslicht darstellen.

321 Daraus, dafs die Empfindungsstärke der objectiven Lichtstärke nicl proportional ist, erklärt sich nun weiter eine Reihe von Thatsachen, welc man bisher unter dem Namen der Irradiation zusammengefafst hat, un welche das Gemeinsame haben, dafs stark beleuchtete Flächen gröfser e scheinen, als sie wirklich sind, während die benachbarten dunklen Fläche um eben soviel kleiner erscheinen.

Die Erscheinungen selbst sind nach der Form der betrachteten Figure sehr mannigfaltig, sie sind im allgemeinen am leichtesten sichtbar und a stärksten, wenn die Accommodation des Auges für den betrachteten Gege stand nicht genau pafst, einerlei ob dieselbe zu fern oder zu nah ist, od ob man das Auge mit einer Glaslinse, concav oder convex, bewaffnet, welc

gute Accomodation unmöglich macht. Aber die Irradiation fehlt auch nicht ganz, wenn die Accommodation genau ist, und ist auch dann bei sehr hellen, namentlich kleinen Gegenständen deutlich zu bemerken, bei kleinen Gegenständen offenbar deshalb, weil deren Gröfse durch die schmalen Zerstreuungskreise relativ mehr vergröfsert wird, als die gröfserer Gegenstände, gegen deren Dimensionen die Breite so schmaler Zerstreuungskreise, wie sie das gut accommodirte Auge liefert, verschwindet.

1) Helle Flächen erscheinen vergröfsert. Die Gröfse von engen Löchern und Spalten, durch welche helles Licht fällt, beurtheilen wir niemals richtig, sie erscheinen uns immer breiter, als sie wirklich sind, auch bei schärfster Accommodation. Ebenso erscheinen auch die Fixsterne als kleine helle Flächen, selbst wenn man sie durch ein Brillenglas betrachtet, welches genaue Accommodation möglich macht. In einem Gitter aus feinen dunkeln Stäben mit Zwischenräumen, welche genau ebenso breit sind wie die Stäbe, (gewöhnliche Drahtgitter zu Interferenzversuchen) erscheinen vor einem hellen Hintergrunde die Zwischenräume stets breiter als die Stäbe. Kommt ungenaue Accommodation hinzu, so sind die Erscheinungen viel auffallender und werden auch an gröfseren Objecten sichtbar. *Fig. 154* zeigt ein weifses Quadrat auf schwarzem Grunde und ein schwarzes auf weifsem Grunde. Bei starker Beleuchtung und unzureichender Accommodation wird das weifse gröfser erscheinen, obgleich beide genau gleich grofs sind.

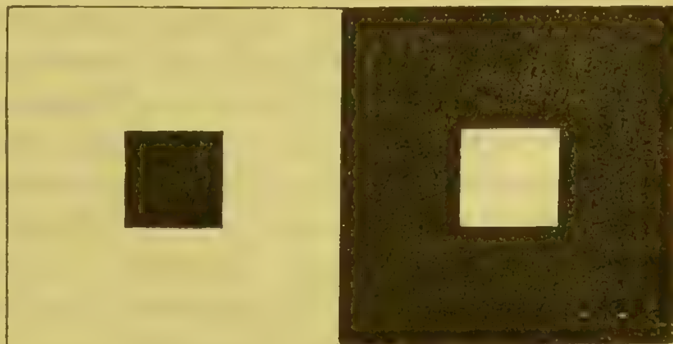


Fig. 154.

2) Nahe liegende helle Flächen fliefsen zusammen. Ein feiner Draht, welchen man zwischen das Auge und die Sonnenscheibe oder eine helle Flamme hält, verschwindet, indem die beiden hellen Flächen, die im Gesichtsfelde neben ihm liegen, von beiden Seiten herübergreifen und zusammenfliefsen. Bei Mustern, die aus schwarzen und weifsen Quadraten ähnlich dem eines Schachbretts zusammengesetzt sind, wie *Fig. 155*, fliefsen durch die Irradiation die weifsen Felder an den Ecken zusammen, und trennen die schwarzen. PLATEAU hat Felder von der Art wie *Fig. 155* auch zur Messung der Breite der Irradiation benutzt. Aus einem dunkeln Schirme waren die weifsen Felder ausgeschnitten und von hinten erleuchtet, von den beiden schwarzen Feldern war eines durch eine Schraube horizontal verschiebbar, und wurde so eingestellt, dafs dem Beobachter die beiden mittleren verticalen Grenzlinien in eine zusammenzufallen schienen. Für gröfsere Entfernungen waren die

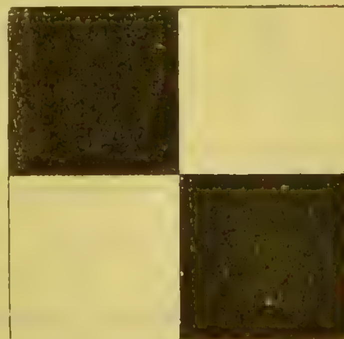


Fig. 155.

322

schwarzen Felder aus Brettchen, für kleinere aus Stahlplättchen verfertigt. Der Fehler, welcher bei der Einstellung begangen war, bezeichnete die Breite der Irradiation.

3) Gerade Linien werden unterbrochen. Wenn man die Kante eines Lineals zwischen das Auge und eine helle Lichtflamme oder die Sonne hält, so erscheint das Lineal an der Stelle, wo der helle Körper darüber hervorblickt, einen Ausschnitt zu haben, wie *Fig. 156* darstellt. Ich mache für den letzteren Fall gleichzeitig darauf aufmerksam, dafs wenn der helle Körper eine Lampenflamme mit cylindrischem Dochte ist, der Einschnitt an den Rändern der Flamme, welche, wie oben erwähnt, eine gröfsere absolute Helligkeit haben, tiefer erscheint als in der Mitte der Flamme, trotzdem das Auge die gröfsere Helligkeit der Ränder nicht als solche empfindet.

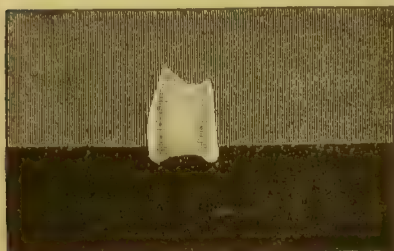


Fig. 156.

Alle diese Erscheinungen reduciren sich darauf, dafs die Ränder heller Flächen im Gesichtsfelde sich gleichsam vorschieben und über die benachbarten dunkleren Flächen übergreifen. Sie greifen desto mehr über, je ungenauer die Accommodation ist, je gröfsere Zerstreuungskreise also ein jeder lichte Punkt der Fläche im Auge entwirft. Nun wissen wir aber, dafs auch bei genauster Accommodation die Zerstreuungskreise nicht ganz fehlen wegen der Farbenzerstreuung und der übrigen Abweichungen des Auges, die wir in § 14 unter dem Namen der monochromatischen Abweichungen des Auges zusammengefafst haben. Durch diese Zerstreuungskreise wird bewirkt, dafs sich am Rande des Netzhautbildes einer hellen Fläche das Licht weiter verbreitet, als das geometrische Bild der Fläche reicht, aber auch die Dunkelheit greift über den Rand des Bildes, d. h. das Licht fängt schon innerhalb des Randes, wo es noch seine volle Stärke haben sollte, an abzunehmen. Es sei in *Fig. 157* c ein Punkt des Randes einer hellen Fläche, bg eine senkrecht gegen den Rand gezogene gerade Linie. Senkrecht gegen dieselbe seien Coordinaten aufgetragen, welche der objectiven Helligkeit in den entsprechenden Punkten von bg proportional sind. Wäre das Bild der Fläche vollkommen genau, so würde die gebrochene Linie $adcg$ die Grösse der Helligkeit ausdrücken. Von b bis zum Rande der Fläche bei c würde nämlich die Fläche die volle Helligkeit H haben, von c ab nach g zu die Helligkeit Null.

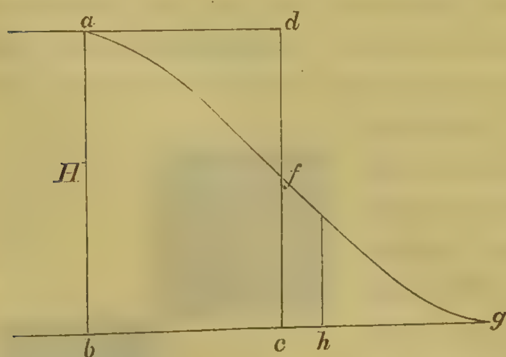


Fig. 157.

323

Wenn durch Mangel der Accommodation Zerstreuungskreise gebildet werden, so nimmt dagegen, wie oben S. 167 gezeigt ist, die Helligkeit ab wie die Curve afg. Es greift dabei sowohl

das Helle über das Dunkle über in *cg*, als das Dunkle über das Helle in *ad*, und soviel Licht sich über den Rand hinaus verbreitet, mufs natürlich innerhalb des Randes der hellen Fläche entzogen werden. So lange wir nur die objective Helligkeit berücksichtigen, würden also die hellen Flächen durch die Zerstreuungskreise nicht vergröfsert erscheinen können. Im Gegentheil die Fläche, welche die volle Helligkeit zeigt, ist durch die Zerstreuungskreise kleiner geworden, wenn auch die Fläche, welche überhaupt Licht empfängt, gröfser geworden ist. Berücksichtigen wir nun aber, dafs die Lichtempfindung für die höheren Stufen der objectiven Helligkeit garnicht oder wenig verschieden ist, so folgt daraus, dafs die Verminderung des Lichts innerhalb der Fläche weniger bemerkt werden wird, als die Erleuchtung vorher dunkler Stellen jenseits ihres Randes, sodafs also für die Empfindung die Ausbreitung des Hellen allein, und nicht die des Dunkels vergröfsert erscheinen mufs. Am auffallendsten wird die Erscheinung sein, wenn die Fläche hell genug ist, dafs innerhalb der Zerstreuungskreise die Lichtempfindung schon ihr Maximum erreicht. Wäre das z. B. in *Fig. 157* bei *h* der Fall, so würde die scheinbare Helligkeit bei *h* nicht mehr von der vollen Helligkeit im Innern der Fläche zu unterscheiden sein. Die volle Helligkeit der Fläche würde also bis *h* zu reichen scheinen und auch jenseits *h* erst sehr langsam abnehmen, ehe sie bei *g* ganz verschwindet. Daraus erhellt auch, warum für das zu Stande kommen der Irradiation grofse Helligkeit vortheilhaft ist. Desto näher nämlich an *g* liegt die Stelle, wo das Maximum der Lichtempfindung erreicht wird. Daraus erklärt sich auch, warum bei gesteigerter Helligkeit des Grundes, selbst wenn die Empfindung dieser Helligkeit dabei nicht weiter steigen kann, doch die Irradiation noch wächst. Proportional der Ordinate *H* wachsen nämlich bei gesteigerter objectiver Lichtstärke sämmtliche Ordinaten der Curve *ag*, und desto näher an *g* rückt also auch die Ordinate, welche der für das Maximum der Empfindung genügenden Helligkeit entspricht. Messende Versuche über den Einflufs der Helligkeit hat PLATEAU ausgeführt, und dabei gefunden, dafs die Gröfse der Irradiation nicht proportional der Helligkeit wächst, sondern in einem geringeren Maafse, und bei steigender Helligkeit sich asymptotisch einem Maximum nähert, wie es auch aus unserer Erklärung folgt.

Es ergiebt sich ferner aus dieser Theorie, warum die Irradiation desto breiter wird, je gröfsere Zerstreuungskreise sich bilden.

Da bei den meisten Personen die Zerstreuungskreise eines zu fernen Punkts nach der Höhe gröfser sind, als nach der Breite, erscheinen kleine 324
helle Quadrate auf dunklem Grunde in einer für die Accommodation etwas zu grofsen Entfernung perpendiculär verlängert, und schwarze Quadrate auf weifsem Grunde horizontal verlängert. Perpendiculäre Verlängerung gröfserer Quadrate sehen übrigens die meisten Personen auch bei genauer Accommodation. Nach den Versuchen von A. FICK[1] erschien einem geübten, nicht

[1] A. FICK. *Henle und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin.* Neue Folge II. S. 83.

kurzsichtigen Auge bei 4500mm Abstand ein Rechteck von 22 Mm. horizontaler und 20 Mm. verticaler Seite als Quadrat, eines von 21 Mm. horizontaler und 20 Mm. verticaler Seite als vertical verlängertes Rechteck. Es ist dies eine Erscheinung anderer Art, die bei weifsen wie schwarzen Rechtecken gleichmäfsig eintritt, und später in der Lehre vom Augenmafse § 28 behandelt werden soll.

In anderen Augen, denen ein ferner Lichtpunkt dreistrahlig erscheint, machen sich auch in den andern Fällen von Irradiation drei Hauptrichtungen bemerklich, in denen sie am stärksten ist, wie es Joslin[1] beschreibt.

Ich habe in dem Vorstehenden den Namen der Irradiation nur auf diejenigen Fälle angewendet, wo man nicht die Zerstreuungskreise als solche wahrnimmt, sondern wo sich scheinbar die Fläche, welche die volle Beleuchtungsstärke hat, vergröfsert. Indessen ist vielfältig der Name der Irradiation auf die Bildung der Zerstreuungskreise überhaupt angewendet worden, auch wo man diese als lichtschwächere Theile des Bildes erkennt. Es ist aber wohl unnöthig, auf diese Fälle einen besonderen neuen Namen anzuwenden. Es können übrigens auch durch die Zerstreuungskreise neue Begrenzungslinien entstehen, welche das Object in veränderter Gröfse erscheinen lassen, ohne dafs die Lichtstärke noch einen besonderen Einflufs hätte. Namentlich hat Volkmann[2] gefunden, dafs sehr feine schwarze Fäden auf weifsem Grunde ebenso wie weifse auf dunklem Grunde für breiter gehalten werden, als sie sind, während die bisher betrachtete Art der Irradiation immer nur das Hellere vergröfsert. Volkmann benutzte Fäden von 0,0445 Mm. Dicke in 333 Mm. Entfernung vom Auge, welche demgemäfs dem Auge viel kleiner erscheinen mufsten, als die kleinsten wahrnehmbaren Distanzen. Er hatte ein Schraubenmikrometer so einrichten lassen, dafs die Fäden langsam einander genähert werden konnten, und stellte dem Experimentirenden die Aufgabe, die Fäden so zu stellen, dafs der Zwischenraum ebenso breit sei, wie die Fäden. Alle Individuen machten aber den Zwischenraum zu breit, und zwar auch, wenn er hell war, und die Fäden dunkel. Volkmann giebt davon die Erklärung, dafs man statt der schmalen schwarzen Streifen breitere Zerstreuungsbilder derselben sehe, denen man dann den mittleren hellen Zwischenraum gleich mache. Er benutzt deshalb auch diese Messungen, um die Breite der Zerstreuungsbildchen bei guter Accommodation zu bestimmen. Er selbst machte den Zwischenraum im Mittel gleich 0,207 Mm., während die Dicke der Fäden, denen derselbe gleich sein sollte, nur 0,0445 Mm. betrug, und berechnet daraus die Breite des Zerstreuungsbildes auf der Netzhaut gleich 0,0035 Mm., bei anderen Personen bei hellem Hintergrund schwankt diese letztere Gröfse zwischen 0,0006 und 0,0025. Diese Gröfsen sind kleiner als die kleinsten
325 sichtbaren Abstände (0,0044 Mm.) und als die Zapfen des gelben Flecks

---

[1] Vergl. J. Plateau. *Pogg. Ann.* Bd. 51a. S. 107. 1842.
[2] Volkmann. *Berichte der sächsischen Ges. d. Wiss.* 1857. S. 129—148.

).0045 bis 0,0054), sodafs möglicher Weise die letzteren die Breite des hwarzen Bildes bestimmt haben können. Dafs so grofse Unterschiede in en Einstellungen vorkamen, darf bei einer so subtilen Aufgabe wohl nicht undern.

Aber auch schwarze Streifen von erkennbarer Breite, welche bei so ngenügender Accommodation betrachtet werden, dafs die Zerstreuungs-reise viel breiter sind, als die Streifen, erscheinen breiter als sie sind. ies scheint mir auf der Vertheilung des Lichts in dem Zerstreuungskreise ı beruhen. Es sei *Fig. 158 ab* der Durchschnitt eines Papierblatts, auf elches eine schwarze Linie gezeichnet ist, e hier im Querschnitt als Punkt *c* erscheint. s mögen durch mangelhafte Accommodation erstreuungskreise vom Radius *fc* entstehen, wird die Curve der Lichtstärke, in der e einzelnen Punkte der Linie *ab* im Netz-hautbilde erscheinen, nach den in § 13 ent-ickelten Principien und abgesehen von den örungen durch Asymmetrie der Linse aus-edrückt durch die Linie $\alpha\varphi\gamma\delta\beta$. Hier er-idet nun die Lichtstärke bei φ und δ einen ötzlichen Abfall, und diese Stellen erscheinen deshalb als Grenzlinien. äre die Linie *c* weifs auf schwarzem Grunde, so würde $\alpha\beta$ als Abscissen-nie zu nehmen sein, und die negativen Ordinaten der Curve $\varphi\gamma\delta$ würden e Lichtstärke ausdrücken; auch dann haben wir bei *f* und *d* einen plötz-hen Abfall der Lichtstärke. Davon übrigens, dafs solche Linien, in denen er Differentialquotient der Lichtstärke unendlich grofs wird, als Grenzlinien er-heinen, kann man sich mittels der rotirenden Scheibe überzeugen. Wenn man ne weifse Scheibe mit einem runden kreis-rmigen Flecke, wie *Fig. 159*, rotiren läfst, so scheint der schwarze Fleck bei schneller Be-egung wie ein grauer Kreis, dessen Licht-tensität durch eine ganz ähnliche Curve ie $\alpha\varphi\gamma\delta\beta$ *Fig. 158* auszudrücken sein ürde, wie aus den im folgenden Para-aphen zu entwickelnden Gesetzen her-orgeht. Der graue Kreis erscheint dabei unz scharf begrenzt an beiden Seiten, d in seinem Innern bemerkt man kaum e ungleichen Grade der Helligkeit; der reifen erscheint vielmehr fast gleich-äfsig grau gefärbt. Übrigens mischen ch in die Zerstreuungsbilder schmaler schwarzer Streifen meist mehr ler weniger die Doppelbilder ein, welche durch Asymmetrie der inse entstehen *(Fig. 85, S. 172)*, wobei die Lichtvertheilung im Zer-

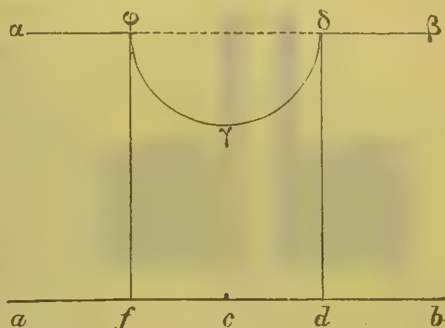


Fig. 158.


Fig. 159.

streuungsbilde zwar verändert wird, aber doch jedenfalls die gröfsere Breite des Bildes bestehen bleibt.

Sobald der schwarze Streifen nicht mehr sehr schmal ist gegen die Breite der Zerstreuungsbilder, so nimmt auch die Helligkeit an seinem 326 Rande allmälig ab, wie in *Fig. 157*, und dann erscheinen seine Ränder verwaschen grau, seine Mitte schwarz. Man erkennt alsdann das Vorhandensein von Zerstreuungskreisen und die Täuschung schwindet. Der Unterschied zeigt sich sehr auffallend in einem von VOLKMANN angegebenen Versuche. Man betrachte die *Fig. 160* aus solcher Entfernung, dafs die Accommodation beträchtlich mangelhaft ist, so wird man finden, dafs der mittlere weifse Streifen, der überall gleiche Breite hat, eine keulenförmige Gestalt bekommt, indem das zwischen den breiten schwarzen Flächen stehende Ende breit wird, das zwischen den schmalen schwarzen Streifen stehende dagegen schmaler wird und gleichsam den Griff der Keule bildet. Zwischen den breiten schwarzen Flächen breitet sich der weifse Streifen durch die gewöhnliche Art der Irradiation aus. Die schmalen schwarzen Streifen dagegen verwandeln sich in breitere graue, und beeinträchtigen dadurch die Breite des zwischen ihnen liegenden mittleren Weifs. PLATEAU hat ähnliche Phänomene beschrieben, daraus aber geschlofsen, dafs die Irradiation zweier benachbarter weifser Ränder sich gegenseitig beschränke.

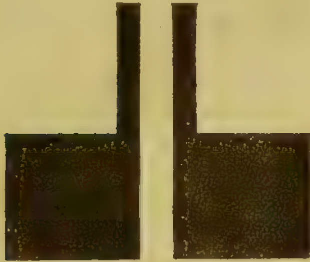


Fig. 160.

Diese zuletzt beschriebenen Phänomene der Ausbreitung dunkler Streifen sind deshalb einfache Fälle von Zerstreuungsbildern, unabhängig von der Beleuchtungsstärke und von dem Gesetze der Empfindungsstärke. Ich würde deshalb vorziehen, den Namen der Irradiation nicht auf sie anzuwenden, sondern diesen zu beschränken auf diejenigen Fälle, wo die Erscheinung von der Beleuchtungsstärke abhängt.

Eine sehr grofse Anzahl von Physikern und Physiologen hat eine andere Erklärung der Irradiationserscheinungen angenommen, welche namentlich von PLATEAU vertheidigt und ausführlich durchgeführt ist. Danach wird angenommen, dafs in der Netzhaut eine erregte Nervenfaser die Fähigkeit habe, den Zustand der Reizung auch in den benachbarten Fasern hervorzurufen, so dafs auch diese Lichtempfindung veranlassen, obgleich sie von keinem objectiven Lichte getroffen werden. Es würde dies ein Fall sogenannter Mitempfindung sein. Dergleichen Mitempfindungen kommen bei anderen sensiblen Nerven vor. Viele Personen empfinden z. B. Kitzel in der Nase, wenn heftiges Licht in ihr Auge fällt, empfinden ein kaltes Überlaufen in der Haut des Rumpfes, wenn sie kreischende oder quietschenden Töne hören. In diesen und anderen Fällen kann die Übertragung der Reizung von der primär erregten Nervenfaser auf die andere

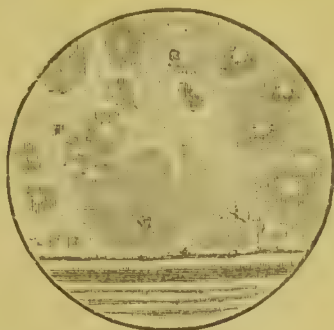
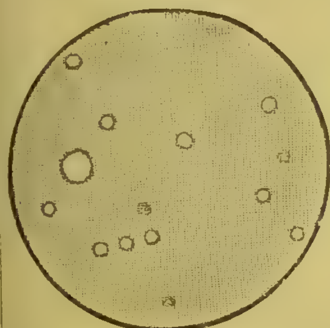
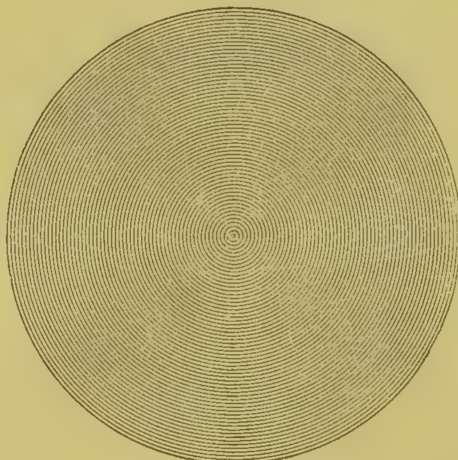
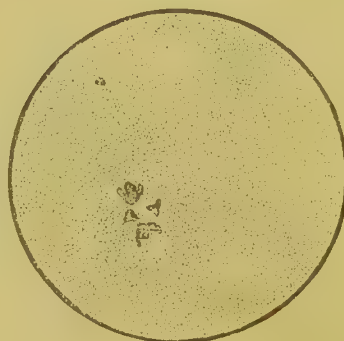
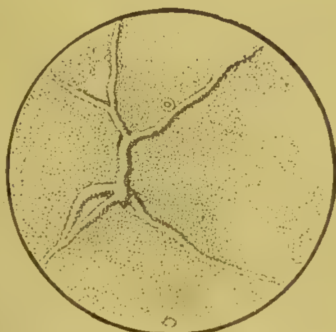

Fig. 2.

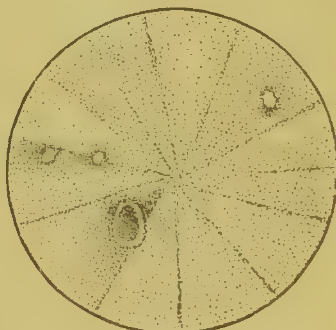

Fig. 3.


Fig. 4.


Fig. 1.


Fig. 5.


Fig. 6.


Fig. 7.

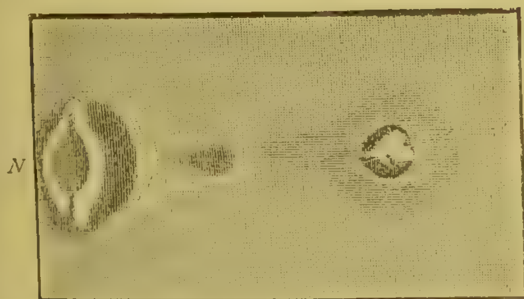


Fig. 8.



Fig. 9.

Verlag von Leopold Voss in Hamburg (u. Leipzig).

t innerhalb der Centralorgane geschehen, da der Sehnerv mit den sensiblen rven der Nase *(Nervus trigeminus)* und der Hörnerv mit den Hautnerven Rumpfes keine andere anatomische Communication hat, als durch die ntralorgane. Übrigens kommen dergleichen Mitempfindungen immer nur ziemlich vereinzelten Beispielen vor, und die angeführte Deutung der- ben kann nicht als fest begründet angesehen werden, weil möglicherweise h reflectorische Entladungen nach den absondernden Drüsen der Nase r den Gefäfsmuskeln der Hautgefäfse ähnliche Empfindungen mittelbar vorrufen könnten. Dafs in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die egung einer sensiblen Faser nicht auf andere Fasern übertragen wird, 327
t schon aus der allgemeinen Erfahrung hervor, wonach wir die einzelnen drücke, welche auf unsere Sinnesorgane geschehen, eben isolirt empfinden nen. Wird eine Hautstelle gestochen, dadurch die zugehörige Nerven- r erregt, so würden ausgebreitete Schmerzempfindungen in vielen Stellen Haut entstehen müssen, wenn die Überleitung auf andere Nervenfasern elmäfsig und constant vorkäme. Wir würden dann die primär erregte lle von den secundär erregten nicht sicher unterscheiden können. In der Regel pfinden wir nun Reizung einer einzelnen Hautstelle eben nur in der ge- ten Stelle, und etwa ihrer allernächsten Nachbarschaft, den ziemlich fsen Empfindungskreisen der Haut entsprechend. Es treten also keine Mit- pfindungen ein. Wenn aber der örtliche Schmerz sehr heftig ist und sehr ge dauert, so treten allerdings auch Schmerzen in den benachbarten Theilen welche gewöhnlich als Mitempfindungen gedeutet werden, aber freilich auch der Ausbreitung der schmerzerregenden Schädlichkeit oder der Ent dung herrühren können. Plateau erinnert auch an die Thatsache, dafs, n das Bild eines auf weifses Papier gezeichneten schwarzen Flecks auf Eintrittsstelle des Sehnerven fällt, in der entsprechenden Stelle des ichtsfeldes nur Weifs empfunden wird, und nimmt auch hier eine Aus- tung der Erregung über die Eintrittsstelle des Sehnerven an. Dafs aber e Erscheinung ganz anderer Art ist, werden wir später zeigen. Wenn also die Irradiation im Auge als Mitempfindung auffassen will, so würde e Ansicht sich doch nur auf selbst noch zweifelhafte Analogien in andern ilen des Nervensystems stützen müssen. Andererseits sind die Er- einungen der Irradiation im Auge alle der Art, dafs immer auch objectives t auf die Theile der Netzhaut fällt oder fallen kann, wo man die Mit- findung vermuthet. Die Stärke der Irradiation ist durchaus der Gröfse Zerstreuungskreise proportional und die ganze Erscheinung läfst sich allen ihren Einzelheiten aus anderen wohl festgestellten Erklärungs- cipien herleiten, sodafs ich es für ungerechtfertigt halte, in einem solchen e neue Principien von zweifelhafter Richtigkeit zu Hülfe zu nehmen.

Wenn man die peripherischen Enden der Sehnervenfasern als netz- „
ig verästelt ansieht, wie es wahrscheinlich die der Tastnerven in der t sind, so würde die Reizung einer punktförmigen Stelle allerdings eine ahl benachbarter Nervenfasern erregen können, und wenn die Erregung

auch der etwas entfernteren das Maximum der Empfindung erreichte, würde der ganze Umkreis, so weit dies geschieht, gleichmäfsig beleuchtet erscheinen. Das wäre nicht im eigentlichen Sinne Mitempfindung, denn die mitempfindenden Fasern wären alle auch vom Reize mitgetroffen. Durch das Gesetz der Unterschiedsschwellen würde aber die Localisation ungenau, welche in der erwähnten Hypothese davon abhängt, dafs das Verhältnifs, in welchem die Erregungsstärke der verschiedenen Fasern steht, richtig abgeschätzt wird. Diese Hypothese würde also in der That eine von der Ausbreitung objectiven Lichts unabhängige Art der Irradiation geben.

Unterschiedsschwellen verschiedener Farben. Von den Herren A. König und E. Brodhun[1] sind neuerdings auch Versuchsreihen angestellt worden über die Gröfse der Unterschiedsschwellen bei verschieden farbigem Lichte. Es hat sich dabei gezeigt, dafs wenn man eine passende Wahl der Beleuchtungseinheiten für die verschiedenen Spectralfarben trifft der Gang der Unterschiedsschwellen in ihrer Abhängigkeit von den absoluten Lichtstärken für grössere Intensitäten nur kleine unsichere Unterschiede zeigt. Dagegen zeigt sich bei den geringeren Beleuchtungsstärken ein beträchlicher Unterschied zwischen den brechbaren und weniger brechbaren Farben. Bei den ersteren, den blauen Farben sind alsdann viel kleinere Unterschiede der objectiven Lichtstärke wahrnehmbar als bei den rothgelben Farben.

Ich gebe hier Figur 161 f. S., welche von den genannten Autoren nach ihren Beobachtungen construirt worden ist, und den Unterschied für die schwächeren Intensitäten stark hervortreten läfst. Zu dem Ende sind als Abscissen horizontal nicht die Werthe der Lichtstärken, die in Ziffern darunter angegeben sind, sondern deren Logarithmen aufgetragen, und als Ordinaten die Gröfsen $\frac{dr}{r}$ (auch in Ziffern angegeben), welche nach dem Fechnerschen Gesetz constant sein sollten, und je höher sie ausfallen, desto gröfsere Unempfindlichkeit des Auges für schwache Beleuchtungsunterschiede anzeigen. Der Zweig I der Curve bezieht sich auf die hohen Beleuchtungsstärken, II auf die blaue Hälfte des Spectrum, die Wellenlängen 505 $\mu\mu$ bis 430 $\mu\mu$ zusammenfassend, III auf die rothgelbe, zwischen den Wellenlängen 670 $\mu\mu$ und 575 $\mu\mu$.

Die Ausführung dieser Versuche geschah in folgender Weise:

Als Lichtquelle diente entweder ein sog. Triplex-Gasbrenner oder für die gröfseren Intensitäten ein Linnemannsches Zirconlicht.

Ein bilateraler Spalt S_1, dessen Breite durch eine Mikrometerschraube bestimmt werden konnte, stand im Brennpuncte einer Linse L_1 von 10 cm Durchmesser. Das somit fast parallel gemachte Strahlenbündel wurde in einem mit zimmtsaurem Äthylaether gefüllten Flüssigkeitsprisma P von entsprechender Gröfse dispergirt und dann durch die achromatische Objectivlinse L_2 eines grofsen astronomischen Fernrohrs zu einem Spectrum wieder vereinigt, welches von der Lithiumlinie (670 $\mu\mu$) bis zur G-Linie (430 $\mu\mu$) eine Ausdehnung von ungefähr 20 c

[1] Arthur König und Eugen Brodhun, Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel in Bezug auf den Gesichtssinn. *Sitzungsberichte d. Akad. zu Berlin.* 26. Juli. 1888.

atte. In der Ebene dieses Spectrum war ein rechteckiger Spalt S_2 von etwa mm Breite und 7 mm Höhe aufgestellt, und hinter diesem ein Doppelspath, dessen auptschnitt vertical und zwar senkrecht zu jener Spaltebene stand. Durch diesen oppelspath hindurch wurde nun der Spalt S_2 vermittelst eines kurzen astronoischen Fernrohrs betrachtet, in dessen Ocular O ein NICOLsches Prisma N_2 einsetzt war. In Folge der geringen Breite des Spaltes im Vergleich zu der ganzen usdehnung des Spectrum war selbst in denjenigen Theilen desselben, wo der arbenton am schnellsten wechselt, keine Farbendifferenz seiner beiden Ränder ahrzunehmen. Die Einstellung auf die sechs benutzten Wellenlängen geschah, inem an einer Scala die Lage der hauptsächlichsten FRAUNHOFERschen Linien des

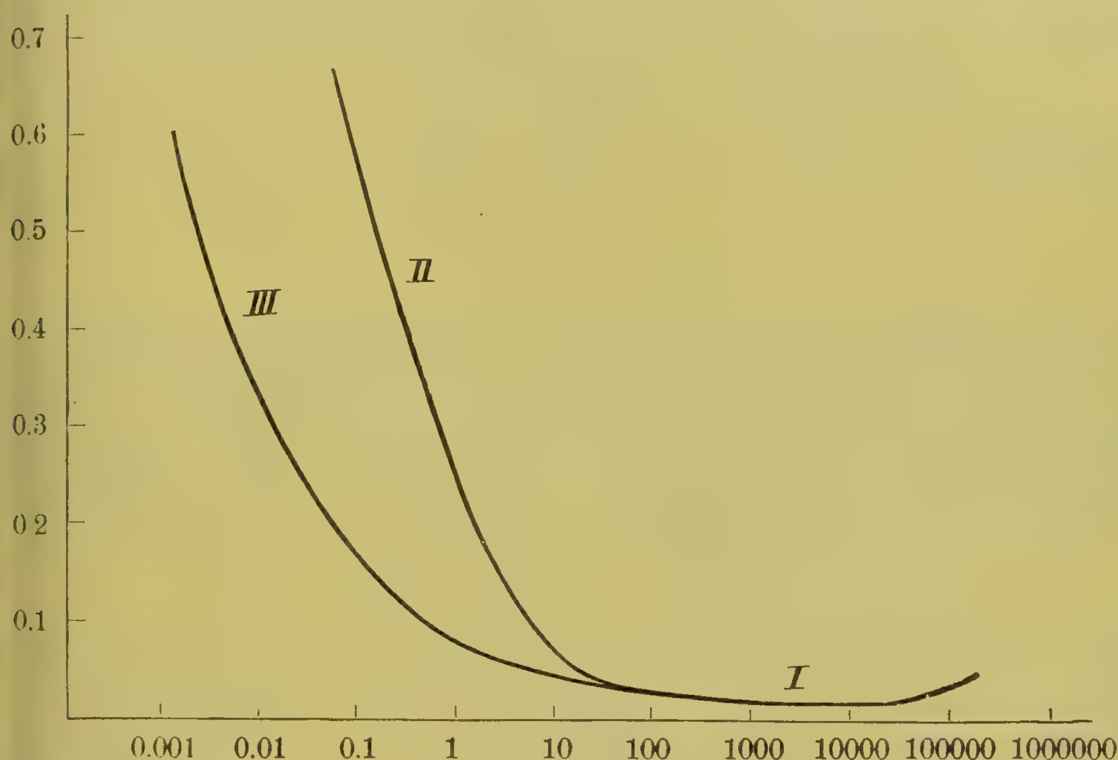


Fig. 161.

pectrum bestimmt wurde und man dann den Spalt S_2 (nebst den mit ihm fest erbundenen Oculartheilen des Apparates) an den durch Interpolation bestimmten ntsprechenden Scalentheil stellte. Die Spalthöhe von S_2 war der Gröſse des oppelspathes so angepaſst worden, daſs die beiden durch den letzteren erzeugten ilder gegen einander um die halbe Spalthöhe verschoben waren, man also drei echtecke von gleicher Gröſse vertical übereinander sah. Das untere wurde aber urch ein geeignetes Ocular-Diaphragma abgeblendet. Jedes dieser Rechtecke hatte ine scheinbare Höhe von ungefähr 3^0 und eine scheinbare Breite von $4^1/_3{}^0$. tand der Hauptschnitt des Ocularnicol N_2 parallel dem Hauptschnitte des Doppelpathes, so erschienen beide Rechtecke gleich hell, bei einer Drehung des Nicol um 0^0 war hingegen das obere Rechteck gänzlich ausgelöscht, während das untere, urch Übereinanderlagerung entstandene, seine Intensität unverändert beibehalten atte. Es setzt dieses freilich voraus, dass das den Spalt S_2 erleuchtende Spectralicht unpolarisirt oder in einer Ebene polarisirt ist, welche mit dem Hauptschnitt

des Doppelspathes einen Winkel von 45° bildet. Da das erstere nun in Folge d. Reflexion an den Flächen des Flüssigkeitsprismas P nicht der Fall ist, so wurde un mittelbar vor den rechteckigen Spalt S_2 nach der Linse L_2 hin ein andere NICOLsches Prisma N_1 eingeschaltet, dessen Polarisationsebene die erforderlich Neigung hatte. Man konnte nun durch Drehen des Ocular-Nicol N_2 das obe Rechteck von der constant bleibenden Intensität des unteren Rechteckes ab bis zu Verschwinden in meſsbarer Weise verdunkeln, während die Grenze beider Feld durch kein andres Markzeichen als der Helligkeitsunterschied angezeigt war. Ein Einstellung zur Bestimmung der Unterschiedsschwelle bestand darin, das man d obere Rechteck eben merklich gegen das untere verdunkelte. Bezeichnen wir da die Intensität des bei dieser Einstellung constant bleibenden unteren Rechteckes m J, den Winkel, den die Polarisationsebene des Ocular-Nicols N_2 gegen den Haup schnitt des Doppelspathes bildet, mit α, so haben wir die Relationen:

$$r + \delta r = J$$
$$r = J \cdot \cos \alpha^2$$

woraus folgt

$$\delta r = J \cdot \sin \alpha^2$$

$$\text{und} \quad \frac{\delta r}{r} = tg\, \alpha^2.$$

Wir brauchen also nur den Winkel α und die Intensität J zu kennen.

Der erstere wurde an einem Theilkreise für jede Unterschiedsschwelle zehnm abgelesen und hieraus das Mittel genommen. Um den Beobachter möglichst v äuſseren Einflüssen zu befreien, saſs er in einem durch schwarze Tücher völlig a gegrenzten und verdunkelten Raum, in den nur das Ocularende des Apparat hineinragte, und er erfuhr während des Verlaufs einer Beobachtungsreihe nicht d Resultat der von einem Gehülfen gemachten Ablesungen.

Als Einheit der Intensität J wurde die Helligkeit festgesetzt, mit welch einem durch ein Diaphragma von 1 qmm blickenden Auge eine mit Magnesiumox überzogene Fläche erscheint[1], die in einem Abstand von 1 m durch eine ihr paral stehende 0,1 qcm groſse Fläche von schmelzendem Platin senkrecht bestrahlt wir Die directe experimentelle Vergleichung geschah, indem bei der Wellenlänge 605 die Spaltbreite bestimmt wurde, welche zur Herstellung einer etwa 200 solch Einheiten enthaltenden Helligkeit auf der durch das erwähnte kleine astronomisc Fernrohr betrachteten Fläche des unteren Rechteckes erforderlich ist. Diese zie lich hohe Helligkeit wurde gewählt, damit hierbei das später ausführlicher erwähn PURKINJEsche Phaenomen keine Fehlerquelle mehr bilden konnte. Die gerin Abweichung (nur etwa 2°/oo) des Mittelwerthes der von beiden Beobachtern gemacht Bestimmungen war zwar vielleicht ein glücklicher Zufall, gewährt aber doch ein Gewähr für die Berechtigung solcher Helligkeitsschätzungen verschieden gefärb Felder. Später zu erwähnende Helligkeitsbestimmungen, welche Herr BRODH für die beiden Farbensysteme in dem Interferenzspectrum desselben auch hier l nutzten Gasbrenners gemacht hatte, ermöglichten mit Benutzung der experiment ermittelten Dispersionsverhältnisse in dem Flüssigkeitsprisma eine Berechnung zur Herstellung derselben Helligkeitseinheit an den übrigen in Betracht komm den Spectralregionen erforderlichen Spaltbreiten.

---

[1] Vergl. A. KÖNIG, *Gräfes Archiv* Bd. 30 (2) S. 161. 1884 und *Wied. Ann.* Bd. 22. S. 572. 1884.

[2] Diese Beleuchtung entspricht etwa der von 1,5 englischen Normalkerzen aus gleicher Entfernu

Die Reihenfolge der Intensitäten J, welche bei jeder Spectralfarbe hergestellt ırde, war nach aufwärts 1, 2, 5, 10, 20 u. s. w., nach abwärts 0.5, 0.2, 0.1, 05 u. s. w., wobei um immer eine möglichst gleiche Reinheit des Spectrum zu ben und von der Ungenauigkeit der Mikrometerschraube des Spaltes S_1 thunlichst abhängig zu sein, Rauchgläser von genau bestimmten Absorptionscoefficienten ischen dem Spalte S_1 und der Linse L_1 eingeschaltet wurden und der Spalt S_1 ır soviel geändert wurde, als zur genauen Herstellung der genannten Stufenfolge r Intensitäten erforderlich war.

Bei der höchsten durch den Gasbrenner erreichbaren Intensität wurde dann n kleines schmales an dem Spalte S_2 angebrachtes totalreflectirendes Prisma mit ectrallicht derselben Wellenlänge, welches durch ein anderes seitwärts aufgestelltes isma erzeugt war, so hell erleuchtet, dass seine ebenfalls durch dasselbe Ocular trachtete Fläche mit dem eigentlichen Beobachtungsfelde gleich hell erschien. ınn wurde der Gas-Triplexbrenner durch das Zirconlicht ersetzt und dieses zunächst ırch Absorptionsgläser und Änderung des Spaltes S_1 so abgeschwächt, dafs das obachtungsfeld wieder gleich dem inzwischen constant erhaltenen Vergleichsfelde ır. Durch Wegnahme der Absorptionsgläser u. s. w. wurden dann die höheren erthe von J hergestellt.

Werthe der Unterschiedsschwellen.

Die nachfolgenden Tabellen enthalten die von den genannten Beobachtern bei der stimmung der Unterschiedsschwellen in den benutzten sechs Spectralregionen erlangten sultate. Die Überschrift gibt die Wellenlänge und den Beobachter an. Die besonderen berschriften der einzelnen Columnen benutzen die auf S. 404 eingeführten Bezeichnungen.

Die oberen Grenzen der Beobachtungsreihen sind gegeben durch die höchst ögliche Leistung des Zirconlichtes; die unteren Grenzen schliefsen unmittelbar an e noch zu besprechenden unteren Reizschwellen an.

670 $\mu\mu$

K.

$J = +\delta r$	α	$r = J\cos\alpha^2$	$\delta r = J\sin\alpha^2$	$\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg}\alpha^2$
0000	8°20′	48950	1050	0.0215
0000	7 16	19680	320	0.0163
0000	7 10	9844	156	0.0158
5000	7 38	4912	88	0.0180
2000	7 24	1967	33	0.0169
1000	7 29	983	16.9	0.0172
500	8 10	490	10.1	0.0206
200	8 31	196	4.40	0.0224
100	9 50	97.1	2.92	0.0300
50	11 11	48.1	1.88	0.039[illegible]
20	12 10	19.1	0.89	0.0465
10	14 50	9.35	0.655	0.0701
5	17 38	4.54	0.459	0.101
2	24 27	1.66	0.343	0.207
1	30 31	0.742	0.258	0.347
0.5	37 50	0.312	0.188	0.603

B.

$J = r + \delta r$	α	$r = J\cos\alpha^2$	$\delta r = J\sin\alpha^2$	$\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg}\alpha^2$
50000	8°33′	48895	1105	0.0226
20000	7 47	19634	367	0.0187
10000	7 19	9838	162	0.0165
5000	7 2	4925	74.9	0.0152
2000	7 25	1967	33.3	0.0169
1000	7 41	982	17.9	0.0182
500	8 22	489	10.6	0.0216
200	8 38	195	4.51	0.0230
100	9 21	97.4	2.64	0.0271
50	10 26	48.4	1.64	0.0339
20	11 44	19.2	0.827	0.0131
10	13 23	9.46	0.536	0.0566
5	16 41	4.59	0.412	0.0898
2	23 27	1.68	0.317	0.188
1	32 20	0.714	0.286	0.401
0.5	41 41	0.279	0.221	0.793

605 μμ

K.

$J = r + \delta r$	α	$r = J \cos \alpha^2$	$\delta r = J \sin \alpha^2$	$\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg} \alpha^2$
200000	11°55′	191500	8500	0.0445
100000	8 56	97590	2410	0.0247
50000	8 6	48900	1100	0.0203
20000	7 46	19635	365	0.0186
10000	7 21	9836	163	0.0166
5000	7 14	4921	79	0.0161
2000	7 43	1964	36	0 0184
1000	8 5	980	19.8	0.0202
500	8 25	489	10.7	0.0219
200	8 39	195	4.5	0.0231
100	9 36	97.2	2.78	0.0286
50	11 12	48.1	1.89	0.0392
20	12 25	19.1	0.92	0.0485
10	14 18	9.39	0.610	0.0650
5	18 44	4.48	0.516	0.115
2	23 23	1.68	0.315	0.187
1	27 25	0.788	0.212	0.269
0.5	31 45	0.362	0.138	0.383
0.2	35 13	0.133	0.0665	0.498

B.

$J = r + \delta r$	α	$r = J \cos \alpha^2$	$\delta r = J \sin \alpha^2$	$\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg} \alpha^2$
200000	13°10′	189620	10377	0.0547
100000	10 30	96680	3321	0.0343
50000	7 50	49070	929	0.0189
20000	7 0	19703	297	0.0151
10000	7 2	9850	150	0.0152
5000	6 49	4918	70.4	0.0143
2000	7 12	1969	31.4	0.0160
1000	7 28	983	16.9	0.0172
500	7 43	491	9.01	0.0184
200	8 38	195	4.51	0.0230
100	8 47	97.7	2.33	0.0239
50	9 26	48.7	1.34	0.0276
20	10 34	19.3	0.673	0.0348
10	13 4	9.49	0.511	0.0539
5	16 11	4.61	0.388	0.0842
2	24 17	1.66	0.338	0.204
1	27 38	0.785	0.215	0.274
0.5	29 13	0.381	0.129	0.313
0.2	32 13	0.143	0.0568	0.397
0.1	37 47	0.0625	0.0375	0.601

575 μμ

K.

$J = r + \delta r$	α	$r = J \cos \alpha^2$	$\delta r = J \sin \alpha^2$	$\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg} \alpha^2$
100000	10°23′	96750	3250	0.0336
50000	9 16	48700	1300	0.0266
20000	8 14	19590	410	0.0209
10000	7 41	9821	179	0.0182
5000	7 25	4917	83.0	0.0169
2000	7 41	1964	36.0	0.0182
1000	7 49	981	18.5	0.0188
500	8 9	491	9.00	0.0205
200	8 40	195	4.50	0.0232
100	9 27	97.3	2.69	0.0277
50	10 19	48.4	1.61	0.0331
20	11 19	19.2	0.770	0.0400
10	13 58	9.42	0.582	0.0518
5	17 20	4.56	0.444	0.0974
2	21 41	1.73	0 273	0.158
1	24 20	0.830	0.170	0.204
0.5	27 12	0.395	0.104	0.264
0.2	31 8	0.146	0.0535	0.365
0.1	39 0	0.0604	0.0396	0.656

B.

$J = r + \delta r$	α	$r = J \cos \alpha^2$	$\delta r = J \sin \alpha^2$	$\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg} \alpha^2$
100000	11°22′	96120	3884	0.0404
50000	8 35	48885	1114	0.0228
20000	7 29	19706	339	0.0172
10000	7 25	9833	167	0.0169
5000	7 19	4919	81.1	0.0165
2000	7 15	1968	31.9	0.0162
1000	6 42	986	13.6	0.0138
500	7 22	492	8.22	0.0167
200	7 35	196	3.48	0.0177
100	8 33	97.8	2.21	0.0226
50	8 31	48.9	1.10	0.0224
20	9 59	19.4	0.601	0.0310
10	11 12	9.62	0.377	0.0392
5	15 35	4.64	0.353	0.077[illegible]
2	22 44	1.70	0.299	0.176
1	24 53	0.823	0.177	0.215
0.5	28 44	0.384	0.116	0.301
0.2	30 0	0.150	0.0500	0.333
0.1	36 36	0.0644	0.0355	0.551

505 $\mu\mu$

K.

$J = r + \delta r$	α	$r = J \cos \alpha^2$	$\delta r = J \sin \alpha^2$	$\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg} \alpha^2$
20000	7°59′	19610	390	0.0197
10000	7 44	9819	181	0.0184
5000	7 17	4920	80.0	0 0163
2000	7 37	1965	35.0	0.0179
1000	7 48	982	18.4	0.0188
500	8 0	490	9.70	0.0197
200	8 29	196	4.40	0.0222
100	8 59	97.6	2.44	0.0250
50	9 8	48.7	1.26	0.0258
20	9 55	19.4	0.59	0.0306
10	10 58	9.64	0.362	0.0375
5	12 46	4.76	0.244	0.0513
2	14 50	1.87	0.131	0.0701
1	16 28	0.920	0.0804	0.0874
0.5	17 33	0.454	0.0455	0.100
0.2	19 23	0.178	0.0220	0.124
0.1	21 26	0.0866	0.0133	0.154
0.05	25 21	0.0408	0.00917	0.224
0.02	30 5	0.0150	0.00503	0.336
0.01	31 23	0.00729	0.00271	0.372
0.005	34 34	0 00339	0.00161	0.475

B.

$J = r + \delta r$	α	$r = J \cos \alpha^2$	$\delta r = J \sin \alpha^2$	$\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg} \alpha^2$
20000	7°17′	19678	322	0.0163
10000	6 52	9857	143	0.0145
5000	7 4	4924	75.5	0.0154
2000	7 2	1970	30.0	0.0152
1000	7 7	985	15.3	0.0156
500	7 0	493	8.42	0.0151
200	7 46	196	3.65	0.0186
100	7 57	98.1	1.91	0.0195
50	8 34	48.9	1 11	0.0227
20	8 45	19.5	0.462	0.0232
10	10 21	9.68	0.323	0.0333
5	11 40	4.80	0.204	0.0426
2	13 22	1.89	0.107	0.0565
1	17 1	0.914	0.086	0.0937
0.5	19 29	0.444	0.0556	0.125
0.2	21 32	0.173	0.0269	0.156
0.1	23 38	0.0839	0.0161	0.191
0.05	25 4	0.0410	0.00897	0.219
0.02	25 25	0.0163	0 00368	0.226
0.01	26 58	0.00794	0.00206	0.259
0.005	31 4	0.00367	0.00133	0.363

470 $\mu\mu$

K.

$J = r + \delta r$	α	$r = J \cos \alpha^2$	$\delta r = J \sin \alpha^2$	$\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg} \alpha^2$
2000	7°41′	1964	36.0	0.0182
1000	7 25	983	16.7	0.0169
500	7 47	491	9.20	0.0187
200	8 28	196	4.30	0.0221
100	8 38	97.7	2.25	0.0230
50	9 7	48.7	1.25	0.0257
20	10 16	19.4	0.64	0.0328
10	11 7	9.63	0.372	0.0386
5	12 26	4.77	0.232	0.0486
2	15 30	1.86	0.143	0 0769
1	17 16	0.912	0.0881	0.0966
0.5	18 3	0.452	0.0480	0.106
0.2	20 53	0.175	0.0254	0.146
0.1	21 47	0.0862	0.0138	0.160
0.05	23 59	0.0417	0.00826	0.198
0.02	27 12	0.0158	0.00418	0.264
0.01	32 33	0.00710	0.00189	0.407
0.005	33 14	0.00350	0.00150	0.429

B.

$J = r + \delta r$	α	$r = J \cos \alpha^2$	$\delta r = J \sin \alpha^2$	$\frac{\delta r}{r} = \operatorname{tg} \alpha^2$
2000	6°50′	1972	28.4	0.0144
1000	6 40	986	13.5	0.0137
500	7 23	492	8.25	0.0168
200	7 52	196	3.75	0.0191
100	8 7	98.0	1.99	0.0203
50	9 19	48.7	1.31	0.0269
20	10 15	19.4	0.734	0.0327
10	11 17	9 62	0.383	0.0398
5	11 49	4.79	0.209	0.0438
2	12 40	1.90	0.0962	0.0505
1	14 49	0.935	0.0654	0.0700
0.5	16 28	0.460	0.0402	0.0874
0.2	19 42	0.177	0.0227	0.128
0.1	21 7	0.0870	0.0130	0.149
0.05	23 36	0.0420	0.00801	0.191
0.02	25 41	0.0162	0.00376	0.231
0.01	28 53	0.00767	0.00233	0.304
0.005	32 4	0.00359	0.00141	0.392

430 μμ

K.

$J = r + \delta r$	α	$r = J \cos \alpha^2$	$\delta r = \sin J \alpha^2$	$\frac{\delta r}{r} = \mathrm{tg}\, \alpha^2$
1000	7°40′	982	17.8	0.0181
500	8 24	489	10.7	0.0218
200	8 58	195	4.90	0.0249
100	9 2	97.5	2.46	0.0253
50	9 29	48.6	1.36	0.0279
20	10 41	19.3	0.690	0.0356
10	11 29	9.60	0.396	0.0413
5	12 50	4.75	0.247	0.0519
2	14 10	1.88	0.120	0.0637
1	15 47	0.926	0.0740	0.0799
0.5	18 6	0.452	0.0483	0.107
0.2	19 58	0.177	0.0233	0.126
0.1	21 45	0.0863	0.0137	0.159
0.05	24 37	0.0423	0.00771	0.210
0.02	28 13	0.0155	0.00447	0.288
0.01	29 56	0.00751	0.00249	0.331
0.005	33 58	0.00344	0.00156	0.454
0.002	37 27	0.00126	0.000739	0.587

B.

$J = r + \delta r$	α	$r = J \cos \alpha^2$	$\delta r = J \sin \alpha^2$	$\frac{\delta r}{r} = \mathrm{tg}\, \alpha^2$
2000	7°14′	1968	31.8	0.0161
1000	7 54	981	18.9	0.0192
500	8 16	490	10.3	0.0211
200	8 52	195	4.75	0.0243
100	9 18	97.4	2.61	0.0268
50	10 32	48.3	1.67	0.0346
20	11 23	19.2	0.780	0.0405
10	11 59	9.57	0.431	0.0450
5	13 5	4.74	0.256	0.0540
2	14 41	1.87	0.128	0.0687
1	16 25	0.920	0.0799	0.0868
0.5	17 34	0.454	0.0455	0.100
0.2	20 18	0.176	0.0241	0.137
0.1	22 3	0.0859	0.0141	0.164
0.05	24 10	0.0416	0.00838	0.201
0.02	26 25	0.0160	0.00396	0.247
0.01	27 8	0.00792	0.00208	0.263
0.005	30 34	0.00371	0.00129	0.349

In den folgenden Tabellen sind die von denselben Beobachtern erhaltenen Werthe der Unterschiedsschwellen für weisses Licht in derselben Anordnung aufgeführt.

Weiss.

K.

$J = r + \delta r$	α	$r = J.\cos^2\alpha$	$\delta r = J.\sin^2\alpha$	$\frac{\delta r}{r} = \mathrm{tg}^2\alpha$
1000000	10°43′	965420	34580	0.0358
500000	9 23	436710	13290	0.0273
200000	9 17	194795	5205	0.0267
100000	7 57	98087	1913	0.0195
50000	7 30	49148	852	0.0173
20000	7 32	19656	344	0.0175
10000	7 33	9827	173	0.0176
5000	7 37	4912	87.7	0.0179
2000	7 40	1964	35.6	0.0181
1000	7 36	983	17.5	0.0178
500	7 53	491	9.41	0.0192
200	8 29	196	4.35	0.0222
100	9 48	97.1	2.90	0.0298
50	10 12	48.4	1.57	0.0324
20	11 15	19.2	0.761	0.0396
10	12 19	9.54	0.455	0.0477
5	13 41	4.72	0.280	0.0593
2	17 2	1.83	0.172	0.0939
1	19 20	0.890	0.110	0.123
0.5	23 28	0.421	0.0793	0.188
0.2	28 1	0.156	0.0441	0.283
0.1	31 32	0.0726	0.0274	0.377
0.05	34 50	0.0337	0.0163	0.484
0.02	39 49	0.0118	0.0082	0.695

B.

$J = r + \delta r$	α	$r = J.\cos^2\alpha$	$\delta r = J.\sin^2\alpha$	$\frac{\delta r}{r} = \mathrm{tg}^2\alpha$
1000000	11° 2′	963370	36630	0.0380
500000	10 23	483760	16240	0.0336
200000	9 47	194225	5775	0.0297
100000	8 20	97900	2100	0.0215
50000	7 55	49051	949	0.0193
20000	7 7	19693	307	0.0156
10000	7 16	9840	160	0.0163
5000	7 10	4922	77.8	0.0158
2000	7 39	1965	35.4	0.0180
1000	7 45	982	18.2	0.0185
500	8 27	489	10.8	0.0221
200	8 30	196	4.37	0.0223
100	8 35	97.8	2.23	0.0228
50	9 20	48.7	1.32	0.0270
20	10 20	19.4	0.643	0.0332
10	12 4	9.56	0.437	0.0457
5	13 0	4.75	0.253	0.0533
2	16 48	1.83	0.167	0.0912
1	18 49	0.896	0.104	0.116
0.5	22 8	0.429	0.0710	0.165
0.2	26 8	0.161	0.0385	0.241
0.1	29 55	0.0751	0.0249	0.331
0.05	35 8	0.0334	0.0166	0.495
0.02	39 4	0.0121	0.00794	0.659

Versuch einer Theorie des Einflusses der fleckigen Vertheilung des Eigenlichts der Netzhaut auf die Gröfse der Unterschiedsschwellen.

Es sei α die objective Lichtstärke, welche nöthig wäre, um dieselbe Stärke der Erregung in einem Flächenstück der Netzhaut hervorzubringen, wie sie im Eigenlicht derselben sich zu erkennen giebt. Da das letztere fleckig erscheint, wird α auf verschiedenen Stellen der Netzhaut verschiedene Werthe haben müssen. Der Flächenraum derjenigen dieser Membranstellen, deren Eigenlicht dem Intervall α bis $(\alpha + d\alpha)$ entspricht, sei $\varphi.d\alpha$, worin φ im allgemeinen eine Function von α sein wird.

Wir wollen zunächst Bezeichnungen einführen für zwei Integrale. Es sei a der höchste vorkommende Werth von α. Wir setzen

$$\int_0^a \varphi \,.\, d\alpha = A \quad \ldots\ldots \quad 1$$

Es ist das offenbar der Werth des Flächenstücks der Netzhaut, auf welches sich unsere Rechnung bezieht. Wir setzen ferner

$$\int_0^a \varphi \,.\, \alpha \,.\, d\alpha = A \,.\, J \quad \ldots\ldots \quad 1\,a$$

Die Gröfse J bezeichnet hiernach den mittleren Werth, den die Intensität α für die ganze Ausdehnung der Fläche A hat.

Die Empfindungsstärke dE für den Helligkeitsunterschied dr bei der objectiven Lichtstärke r betrachten wir als Summe aller Einzelwirkungen, die den einzelnen Helligkeitsstufen $d\alpha$ entsprechen, und setzen nach FECHNER's Gesetz

$$dE = dr \,.\, \int_0^a \frac{\varphi \,.\, d\alpha}{\alpha + r} \quad \ldots\ldots \quad 2$$

Um diese Integration auszuführen, führen wir statt α eine neue Variable ε ein, indem wir setzen

$$\alpha = J + \varepsilon$$

Da α von o bis a steigen kann, kann ε von $(-J)$ bis $(a-J)$ steigen. Indem wir diesen Werth von α in die Function φ einsetzen, stellen wir diese als Function von ε dar.

Wir schreiben dem entsprechend die Gleichung 2)

$$dE = dr \int_{-J}^{a-J} \frac{\varphi \,.\, d\varepsilon}{J + r + \varepsilon} \quad \ldots\ldots \quad 2\,a$$

Da die Grenzen der Integration immer dieselben bleiben, wollen wir sie nicht mehr bezeichnen.

Nun ist identisch

$$\frac{1}{J+r+\varepsilon} = \frac{1}{J+r} - \frac{\varepsilon}{(J+r)^2} + \frac{\varepsilon^2}{(J+r)^2 . (J+r+\varepsilon)}$$

was leicht zu verificiren ist. Wenn wir dies einsetzen in die Gleichung 2a, erhalten wir

$$dE = \frac{dr}{J+r}\int \varphi . d\varepsilon - \frac{dr}{(J+r)^2}\int \varphi . \varepsilon . d\varepsilon + \frac{dr}{(J+r)^2}\int \frac{\varphi . \varepsilon^2 . d\varepsilon}{J+r+\varepsilon} \quad \ldots \quad \Bigg\} 2b$$

Das erste Integral ist dasselbe wie das der Gleichung 1 und hat also den Werth A. Das zweite

$$\int \varphi . \varepsilon . d\varepsilon = \int \varphi . (\alpha - J) . d\alpha$$

Das wird mit Berücksichtigung von (1) und (1a)

$$\int \varphi . \varepsilon . d\varepsilon = JA - J . A = 0.$$

Der ganze Werth von dE reducirt sich also auf folgenden Ausdruck:

$$dE = A\frac{dr}{J+r} + \frac{dr}{(J+r)^2} . \int \frac{\varphi . \varepsilon^2 . d\varepsilon}{J+r+\varepsilon} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \Bigg\} 2c$$

$$= \frac{A . dr}{J+r} + \frac{dr}{(J+r)^2}\int \frac{\varphi (\alpha - J)^2 . d\alpha}{\alpha + r}$$

Da in dem letzteren Integrale alle Factoren in Nenner und Zähler nothwendig positiv sind, so ist der Werth des Integrals jedenfalls positiv. Dieser zweite Summande im Werthe von dE verschwindet bei großen Werthen von r gegen den ersten, welcher dem FECHNERschen Gesetze bei gleichmäßiger Intensität J des Eigenlichts entspricht. Für kleine objective Lichtstärken r dagegen vergrößert das zweite Glied den Werth von dE in merklicher Weise, d. h. die Wahrnehmung des Unterschieds dr wird deutlicher, als sie nach dem FECHNERschen Gesetz für die Intensität des Eigenlichts J sein sollte, und der Schwellenwerth dr kann also kleiner gemacht werden, ohne ununterscheidbar zu werden.

Das in (2c) noch vorkommende Integral hat dieselbe Form wie das in (2a) enthaltene, mit dem einzigen Unterschiede, daß die zusammengesetztere Function

$$\varphi . \varepsilon^2 . d\varepsilon = \varphi (\alpha - J)^2 . d\alpha$$

unter dem Integralzeichen an Stelle von $\varphi . d\varepsilon$ getreten ist. Man kann das neue Integral gerade wie das frühere behandeln, indem man setzt

$$\int \varphi . (\alpha - J)^2 . d\alpha = A_2$$

$$\int \varphi . (\alpha - J)^2 . \alpha . d\alpha = A_2 J_2 ,$$

worin J_2 wiederum dem Mittelwerth der Function α über die ganze Fläche genommen, aber für eine andre Vertheilung der Werthe, wie sie durch $\varphi\ (\alpha - J)^2$ gegeben ist bezeichnet. Dabei werden die mittleren Werthe einflußlos, da für sie

$$\alpha - J = 0.$$

So erhält man

$$dE = \frac{A . dr}{J+r} + \frac{A_2 dr}{(J+r)^2 . (J_2+r)} + \frac{dr}{(J+r)^2 (J_2+r)^2}\int \frac{\varphi . (\alpha - J)^2 (\alpha - J_2)^2 . d\alpha}{\alpha + r}$$

Auch das neue Integral ist nothwendig positiv. Man kann so weiter gehen und es läßt sich auch zeigen, daß die entstehende unendliche Reihe convergent

sein muſs selbst für kleine Werthe von r. Daſs sie für gröſsere Werthe von r schnell convergiren muſs, ist leicht ersichtlich. Da die Reihe der verschiedenen A und J durch lauter positive Integrale gegeben wird, müssen sie auch alle positiv sein.

Bei dem bisher gewonnenen Material von Thatsachen wird es genügen, daſs wir uns auf die ersten zwei Glieder dieser Reihe beschränken, um zu zeigen, in welchem Sinne die gemachten Annahmen das einfache FECHNERsche Gesetz verändern. Setzen wir also

$$dE = dr \cdot \left\{ \frac{A}{J + r} + \frac{A_2}{(J+r)^2\,(J_2+r)} \right\},$$

so ergiebt dies

$$\begin{aligned} \frac{dr}{dE} &= (J+r)\left[\frac{(J+r)\;(J_2+r)}{A\,(J+r)\;(J_2+r)+A_2}\right] \\ &= \frac{J+r}{A}\left[1 - \frac{A_2}{A\,(J+r)\;(J_2+r)+A_2}\right] \\ &= \frac{J+r}{A} - \frac{A_2}{A^2\,(J_2+r) + \dfrac{A_2\,A}{J+r}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned} \quad \Bigg\} \; 2f$$

Im Nenner des zweiten Gliedes, welches an sich schon klein ist, wird sich das Glied mit r im Nenner für nicht zu kleine r ebenfalls vernachlässigen lassen. Dann bleibt nur stehen

$$\frac{dr}{dE} = y = \frac{J+r}{A} - \frac{A_2}{A^2(J_2+r)}.$$

Betrachten wir hierin r und y als rechtwinkelige Coordinaten, so ist dies die Gleichung einer Hyperbel, deren eine Asymptote der y Axe parallel, von dieser um J_2 nach der negativen Seite hin abstehend, verlaufen würde. In Fig. 162 ist diese theoretische Curve dargestellt. O ist der Anfangspunkt der Coordinaten, längs der horizontalen Axe OR sind die Werthe der r aufgetragen, senkrecht dazu die Werthe der y, welche den Unterschiedsschwellen proportional sind, hier aber vergröſserten Maaſsstab haben, um die Zeichnung deutlicher zu halten. AB und CC sind die beiden Asymptoten der Hyperbel, deren über OR liegendes Stück den den Beobachtungen entsprechenden Theil der Curve darstellen würde. Indessen stellt die Hyperbel, wie oben bemerkt, nur eine abgekürzte Art der theoretischen Formel dar. In der That würde die vollständigere Formel eine etwas niedere Führung der Curve dicht bei O bedingen, und in der That lassen auch die Beobachtungen eine Abweichung in diesem Sinne erkennen. Doch ist hier in dem Gebiete der schwachen Lichtstärken die Genauigkeit der Beobachtungen wohl kaum zureichend, um noch ein weiteres

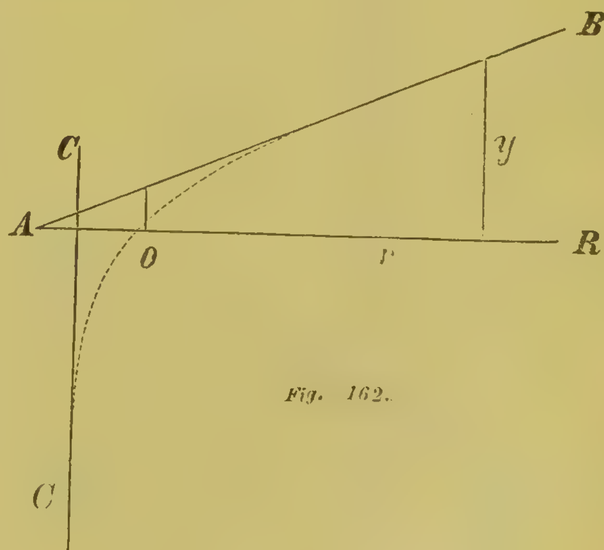


Fig. 162.

Glied der Formel zu bestimmen. Die Versuche zeigen aufserdem, dafs hier Abweichungen zwischen den verschiedenen Farben bestehen, und wahrscheinlich wird aufserdem hier das Gesetz durch Mischung verschiedener Grundfarben noch verwickelter.

Die Lage der Asymptote AB indessen scheint nach den genannten Beobachtern für alle Farben ziemlich dieselbe zu sein, während die Lage der zweiten Asymptote und der Abstand des Scheitels der Hyperbel vom Scheitelpunkt der Asymptoten (d. h. Mittelpunkt der Hyperbel) variiren würden, so weit eben die Hyperbeln überhaupt einen annähernden Ausdruck für den Gang der Function zu geben vermögen.

Ich gebe hier noch in Fig. 163 die nach den Beobachtungen von den genannten Beobachtern construirten Curvenformen für das spectrale Roth (Wellenlänge 670 $\mu\mu$), wobei die Ordinaten im zehnfachen Maafsstabe der Abscissen aufgetragen sind. Die Curve K gilt für das trichromatische Auge des Herrn A. Koenig, B für das dichromatische Auge des Herrn E. Brodhun. Die Punkte und kleinen Kreise entsprechen den wirklich ausgeführten Beobachtungen. Die Ähnlichkeit mit hyperbolischen Bögen ist augenfällig, namentlich in der Curve B. Aber man würde geneigt sein die zweite Asymptote der Curve nicht gerade abwärts, sondern schräg geneigt zu ziehen.

Abweichend von der Deutung, welche die genannten Beobachter ihren Curven gegeben haben, würde nach den unsrer Formel zu Grunde gelegten Voraussetzungen die mittlere Stärke des Eigenlichts der Strecke AO (*Fig. 162*) entsprechen, welche nach der Rechnung gegen 50 der photometrischen Einheiten betragen würde, nach denen die Beobachter gerechnet haben. Dafs die Strecke, die sie als Stärke des Eigenlichts deuten, verhältnifsmäfsig zu klein ist, selbst im Vergleich zu den Flecken des Eigenlichts, ist für meine Augen unzweifelhaft. Es wäre noch erst zu ermitteln, ob etwa das Lebensalter hierin grofse Verschiedenheiten bedingt. Ich selbst kann keinen gröfseren Einflufs des Lichtstaubs auf meine Sehschärfe erkennen, als ich seit jeher gekannt habe.

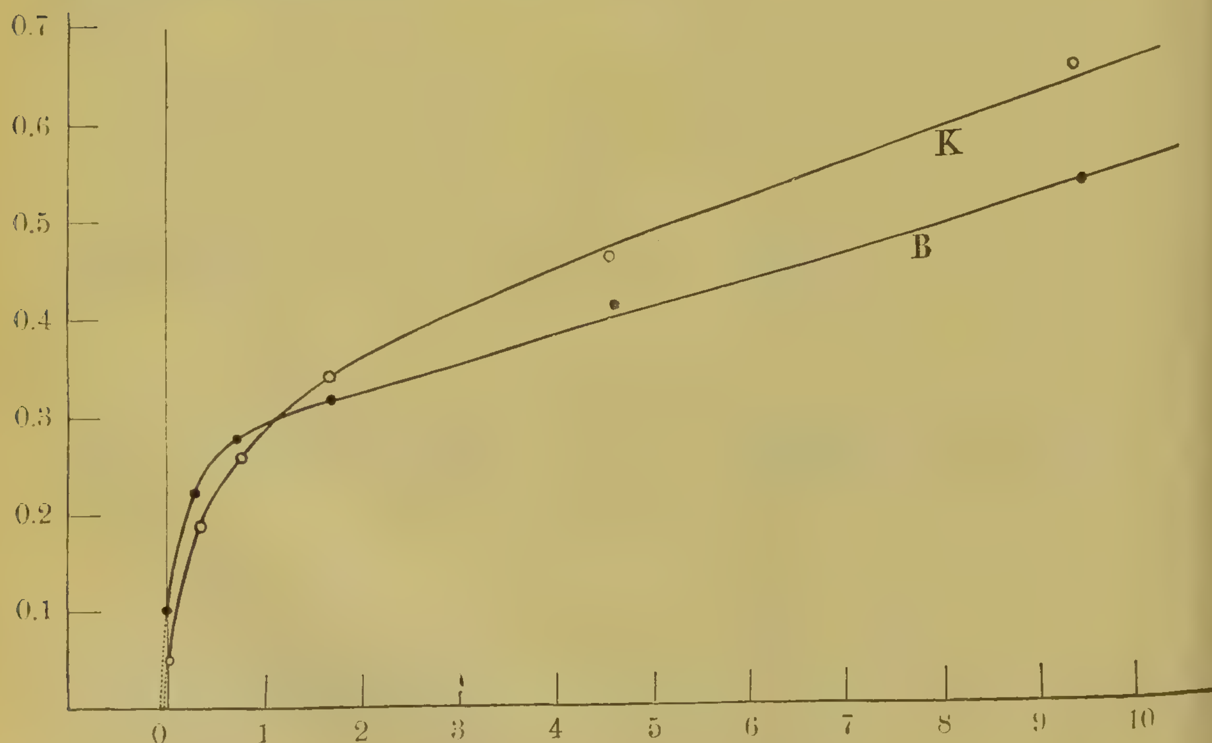


Fig. 163.

Abweichungen für hohe Lichtstärken.

Die Abweichungen von FECHNERs Gesetz, die für hohe Werthe der Lichtstärke r entstehen, können wir in der Formel ausdrücken, indem wir dem ersten und gröfsten Gliede der Gleichung $(2f)$ noch einen mit r steigenden Factor im Nenner hinzusetzen, wie ich dies schon in der ersten Ausgabe dieses Buchs gethan. Setzen wir also:

$$dE = \frac{A \cdot dr}{(J+r)(1+\varepsilon r)} + \frac{A_2 \cdot dr}{(J+r)^2 (J_2+r)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3$$

Darin soll ε eine verhältnifsmäfsig kleine Gröfse sein, welche für alle Farben gleichen Werth zu haben scheint, so weit bisher die messenden Beobachtungen reichen. Da die letzteren nur für die schwächeren Grade der Blendung ausführbar sind, indem bei höheren Graden der Zustand des Auges zu schnell sich ändert, so läfst sich in der mathematischen Formulirung höchstens ein Correctionsglied angeben, was die kleinen Abweichungen der Beobachtungen einigermafsen richtig darstellt.

Ich gebe in der folgenden Tabelle einen Vergleich der Ergebnisse dieser Formel mit den auf spectrales Roth bezüglichen Beobachtungen von Herrn A. KOENIG.[1] Bei

Höhere Lichtstärke $(r + dr)$	Unterschiedsschwelle dr für Roth von der Wellenlänge 670 $\mu\mu$		Mittelwerthe für 6 beobachtete Farben	Maafs der Klarheit $\frac{r}{dr}$
	beobachtet	berechnet		
200000		7158,2	8500	27,94
100000		2684	2830	37,26
50000	1050	1080	1150	46,30
20000	320	370	371,2	54,05
10000	156	175	169,75	57,14
5000	88	85,4	82,5	58,55
2000	33	33,8	36,5	59,17
1000	16,9	17,6	18,02	56,82
500	10,1	9,30	9,57	53,76
200	4,40	4,36	4,50	45,87
100	2,92	2,64	2,59	37,88
50	1,88	1,69		29,59
20	0,89	0,98		20,41
10	0,655	0,656		15,25
5	0,459	0,457		10,94
2	0,343	0,316		6,329
1	0,258	0,255		3,921
0,5	0,188	0,240		2,083
0,06	0,060	0,217		1,000

[1] A. KÖNIG und E. BRODHUN. *Sitzungs-Ber. d. Akad. zu Berlin.* 1888. 26. Juli. S. 922.

der Rechnung ist $A = 60{,}8825$ der Einheiten der Lichtstärke r gesetzt, $J = 74{,}3933$, $J_2 = 25$, ferner $A_2 = 2{,}5119$. A und $\frac{1}{\varepsilon} = 150000$. Um ein Maafs für die relative Präcision der Beobachtungen zu geben, die bei Bestimmungen der kleinsten wahrnehmbaren Unterschiede sich nie sehr weit treiben läfst, habe ich in der vorletzten Columne für die gröfseren Lichtstärken, bei denen die verschiedenen Farben nach dem Urtheil der beiden Beobachter keine regelmäfsigen Differenzen der Unterschiedsschwellen zeigen, noch die Mittel der Werthe für die sechs durchgemessenen Farben hingesetzt. Die unterste Reihe der Tabelle bezieht sich auf die Reizschwelle. Hier ist eine gröfsere Abweichung vorhanden; aber auch die Abweichung der darüber stehenden Zahl ist vielleicht nicht zufällig, sondern durch die Vernachlässigung der kleineren Glieder unserer Reihe bedingt.

Die letzte Columne giebt aus den nach der Formel berechneten Werthen das Maafs der Klarheit nach der oben gegebenen Definition dieses Begriffs.

In der letzten Columne zeigt sich das Maximum der Klarheit bei der Lichtstärke 2000, aber von 500 bis 20000 weicht es höchstens um ein Zehntel von diesem Maximum ab, also innerhalb eines Gebiets dessen obere Grenze die untere 40 mal an Lichtstärke übertrifft.

Bei dieser Lage des Maximum hat das mit A_2 multiplicirte Glied der Formel 3 kaum noch Einflufs, und man kann die Lage des Maximum allein aus dem ersten Gliede bestimmen. Nach der Definition ergiebt sich der Werth der Klarheit K

$$K = \frac{r}{dr} = \frac{A r}{(J + r)(1 + \varepsilon r)} = \frac{A}{1 - \varepsilon J}\left[\frac{1}{1 + \varepsilon r} - \frac{J}{J + r}\right]$$

Um das Maximum zu bestimmen, müssen wir den Differentialquotienten von K nach r gleich Null setzen.

$$0 = \frac{dK}{dr} = \frac{A}{1 - \varepsilon J}\left[\frac{J}{(J + r)^2} - \frac{\varepsilon}{(1 + \varepsilon r)^2}\right]$$

Dies giebt das Maximum für

$$r = \sqrt{\frac{J}{\varepsilon}}$$

Dieser Rechnung nach würde das Maximum der oben berechneten Reihe bei $r = 3022$ liegen und den Werth 59,50 haben. Der Werth der Empfindlichkeit ist hier merklich kleiner als man bei anderen Vergleichsmethoden erreicht zu haben glaubte, vielleicht weil die Felder nicht sehr grofs waren.

Die Messungen der Unterschiedsschwellen für weifses Licht welche von denselben Beobachtern ausgeführt wurden[1] und oben schon angeführt sind, ergaben ganz entsprechende Resultate, so dafs die Messungen für Weifs in de

[1] A. König und E. Brodhun, Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel. Zweite Mittheilung. *Sitzungsberichte der Akademie zu Berlin* 1889. 27. Juni.

höheren Graden der Lichtstärke denselben Gang einhielten, wie für die Spectralfarben, soweit diese übereinstimmende Unterschiedsschwellen gaben, für die schwächeren Beleuchtungen dagegen zwischen die Werthe der rothgelben und blauvioletten Farben hineinfielen. Da Herrn BRODHUN das Blaugrün weifs erscheint, so zeigte sich also kein wesentlicher Unterschied in dem Verhalten dieses einfachen Weifs gegen das zusammengesetzte Weifs.

Die unteren Reizschwellen geben diejenigen Beleuchtungsstärken an, welche eintreten müssen um überhaupt das Vorhandensein einer objectiven Beleuchtung im Vergleich mit dem ganz dunklen Grunde des objectiven Feldes zu erkennen. Ich bemerke hier sogleich, dafs dabei die räumliche Ausdehnung des beleuchteten Feldes einen sehr erheblichen Einflufs ausübt, worüber wir unten noch weiter handeln werden, dafs auch Bewegungen der Objecte, namentlich solche, welche der Beobachter mit eigner Hand willkürlich hervorbringt, kleinere Unterschiede der Beleuchtung erkennbar machen, als sie bei ruhendem Objecte erfordert werden. Man kann zuweilen noch Nachts in einem ganz verdunkelten Schlafzimmer, wo von ruhenden Objecten nichts mehr zu erkennen ist, nicht einmal Spalten der Fenstervorhänge, durch welche Sternenlicht eindringen könnte, sondern scheinbar nur der Lichtstaub des dunklen Gesichtsfeldes erscheint, noch zuweilen Bewegungen der Hand des Beobachters oder des mit einem weifsen Hemd bekleideten Arms erkennen, und sich durch Schlufs der Augenlider doch überzeugen, dafs es sich nicht um ein blos subjectives Phänomen handelt. Doch ist zu bemerken, dafs gelegentlich auch Täuschungen der letzteren Art vorkommen, wenn man dem bewegten Gliede unwillkürlich mit den Augen folgt, und zufällig Flecken des Eigenlichts da sind, die eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Bilde des Objects haben, und mit den Augen sich scheinbar im Raume fortbewegen und dem reellen Objecte folgen.[1]

Die Angaben der Herren A. KÖNIG und E. BRODHUN beziehen sich auf dieselben für die Unterschiedsschwellen gebrauchten Einheiten der Lichtstärke und beleuchtete Felder der dort gebrauchten Ausdehnung. Sie sind folgende:

Untere Reizschwellen.

λ	KÖNIG	BRODHUN
670 $\mu\mu$	0,060	0,11
605	0,0056	0,011
575	0,0029	0,0055
505	0,00017	0,00035
470	0,00012	0,00013
430	0,00012	0,00014
—	—	—
Weifs	0,00072	0,00073

[1] H. v. HELMHOLTZ, die Störung der Wahrnehmung kleinster Helligkeitsunterschiede durch das Eigenlicht der Netzhaut, *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*. Bd. I. S. 5. 1890.

Photometrie. Die hier besprochene Fähigkeit des Auges kleine Unterschiede der Lichtstärke im Gesichtsfelde zu erkennen ist nun die Grundlage für die messende Vergleichung verschiedener Lichtstärken von Flächen. Wir können hierbei absehen von allen Methoden, wobei Strahlungsintensitäten nicht durch ihre Wirkung auf die Netzhaut sondern durch andre physikalische oder chemische Wirkungen verglichen werden z. B. durch Wärmeentwicklung, durch Änderung des galvanischen Widerstandes von Selen, durch Photographie u. s. w. Diese gehören nicht in die physiologische Optik. Auf den bisher immer noch sehr schwierigen Gebrauch solcher andrer Methoden sind wir übrigens nur in dem Falle angewiesen, wo es sich um Verfolgung solcher Strahlen handelt, die das Auge gar nicht, oder nur sehr schwach afficiren, und also auch nicht in engerem Sinne als Licht bezeichnet werden können.

Für die sichtbaren Strahlen schliefsen wir aus der Gleichheit ihrer Wirkung auf beliebige Stellen der Netzhaut auf Gleichheit der objectiven Lichtstärke derselben. Genau kann eine solche Gleichheit nur für gleichfarbiges Licht vorhanden sein. Wir werden demgemäfs hier auch zunächst von der photometrischen Vergleichung gleichfarbigen Lichtes (isochromatische Photometrie) handeln und dann erst zu der Frage übergehen, in wie weit Vergleichungen der Helligkeit verschiedenfarbigen Lichtes (heterochromatische Photometrie) möglich sind.

Das Auge kann immer nur die Gleichheit zweier hellen Felder anerkennen, und nicht ohne weitere objective Hülfsmittel das Quantitätsverhältnifs verschieden grosser Lichtmengen bestimmen.

Wir brauchen also, wenn letzteres verlangt wird, noch ein optisches Verfahren, welches die Intensität des helleren Lichtes so weit und zwar in bekanntem Verhältnifs herabsetzt, bis beide zu vergleichenden Helligkeiten gleich geworden sind. Dazu können, je nach der Natur der Aufgabe, aufserordentlich verschiedene optische Methoden verwendet werden. Aber auch deren Discussion gehört wesentlich der rein physikalischen Optik an, so dafs eine kurze Aufzählung der gewöhnlich praktisch gebrauchten hier genügen wird.

1) Änderung der Beleuchtung durch Änderung der Entfernung zwischen Lichtquelle und Object. Dies ist die älteste Methode ausgehend von BOUGUER.[1] Sie stützt sich auf den Satz, dafs bei ungestörter Ausstrahlung des Lichts von einem leuchtenden Puncte in geradlinigen Strahlen die Helligkeit eines normal von den Lichtstrahlen getroffenen Flächenstücks umgekehrt dem Quadrat der Entfernung von dem leuchtenden Puncte proportional ist. LAMBERT[2] machte die Methode viel leichter und geschickter, indem er von zwei nicht ganz in derselben Richtung stehenden Lichtquellen dieselbe weifse Fläche nahehin senkrecht beleuchten liefs, vor diese einen verticalen Stab brachte, welcher zwei dicht neben einander liegende Schatten entwarf, und dann die stärkere Lichtquelle so weit entfernte, bis die beiden Schatten gleich hell waren. Diese Methode ist sehr viel

---

[1] PIERRE BOUGUER, *Essai d'optique sur la gradation de la lumière.* Paris 1729. 1760. Lateinische Übersetzung. Wien 1762.

[2] JOHANN HEINRICH LAMBERT, *Photometria s. de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae.* AUG. VINDEL. 1760.

l sehr lange gebraucht worden. Es ist leicht zu sehen, dafs hierbei der eine atten nur von der einen Lichtquelle, der andre von der andern Licht empfängt. Schatten erscheinen sie nur, weil der umgebende Grund gleichzeitig von beiden htern beleuchtet wird, und deshalb heller erscheint. Dies ist übrigens ein ndernifs für eine sehr feine und sichere Vergleichung der Helligkeit beider Schatten, durch die Nähe stärkeren Lichtes in grofser Ausdehnung die Pupille verengert l das Auge geblendet wird.

Bei der Anwendung derselben sind aufserdem gewisse Vorsichtsmafsregeln zu be- ten, wenn man genaue Resultate zu erhalten wünscht. Erstens mufs man dafür gen, dafs alles andre Licht ausgeschlossen sei, namentlich auch alles von den nden und andern Gegenständen reflectirte, welches die beiden zu vergleichenden chenstücke verschieden stark beleuchten könnte. Zweitens pafst die Regel vom gekehrten Quadrat der Entfernung streng nur für leuchtende Puncte, annähernd für leuchtende Körper, deren Dimensionen im Vergleich zur Entfernung der uchteten Fläche verschwinden. Daraus folgt aber, dafs die Methode nur mit zen auf kleine Lichtquellen von grofser Helligkeit angewendet werden kann, che trotz ihrer geringen Ausdehnung doch viel Licht aussenden. (Geometrische rachtungen, die sich auf die Theorie dieser Beleuchtungen beziehen, siehe oben 206—215).

Hat von einem Puncte der letzteren aus gesehen der leuchtende Körper eine kliche scheinbare Gröfse im Gesichtsfelde, so können auch nicht mehr alle ahlen desselben senkrecht die Fläche treffen. Man würde dann nur durch Inte- ion die Gesammtwirkung berechnen können, müfste zur Ausführung dieser hnung aber die Lichtstärke jedes Theils der Oberfläche des leuchtenden Körpers r aber die jedes Flächenelements seiner perspektivischen Projection auf eine dem uchteten Puncte concentrische Kugel kennen.

Für einfache geometrische Formen wie z. B. kreisrunde Scheiben, oder cylin- che gerade Drähte (Kohlenfäden in Glühlampen) läfst sich eine solche Rechnung eilen durchführen.

2) Eine andre wichtige Methode zur Verminderung der Helligkeit in bekanntem hältnifs ist bei polarisirtem Lichte anwendbar. Geht Licht durch zwei linear risirende Apparate hinter einander z. B. durch doppeltbrechende Prismen oder h Nicolsche Prismen, so ist die Intensität des austretenden Lichts dem Quadrat Cosinus des Winkels, den die Hauptschnitte der beiden Polarisatoren mit ein- er bilden, proportional. Dieses Verfahren ist unter Anderem schon erwähnt 57 bei der Beschreibung des Farbenmischungsapparates für Spektralfarben und 03 der Methode zur Bestimmung der Unterschiedsschwellen verschiedener Farben.

3) Schwächung des Lichts durch Auberts Episkotister. Letzterer besteht einer schnell umlaufenden kreisrunden Doppelscheibe. Die beiden an einander gten Scheiben, welche sie zusammensetzen, sind in eine gleiche Anzahl von gleich ten Sectoren getheilt, die abwechselnd ausgeschnitten und stehen geblieben sind, Art der schon mehrfach erwähnten Maxwellschen Farbenscheiben. Wenn oder mehr helle und dunkle Sectoren in der Secunde das einfallende Licht- hlenbündel durchschneiden, erscheinen die durch dasselbe gesehenen lichten cte dem Auge des Beschauers dauernd gleichmäfsig hell, aber ihre Helligkeit vermindert in dem Verhältnifs in dem die Winkelbreite je eines durchsichtigen ors zu der Summe der Winkelbreiten eines hellen und eines undurchsichtigen ors steht. Das Nähere über diese Methode im nächsten Paragraphen.

Wir kommen nun zu dem von den physiologischen Fähigkeiten des menschlichen Auges abhängigen Theile der photometrischen Methoden.

Aus dem, was oben über die Unterschiedsstufen der Helligkeit gesagt ist, erhellt zunächst, daſs man die kleinsten Bruchtheile der ganzen Lichtstärke nur bei derjenigen Helligkeit, die dem Maximum der Klarheit entspricht, wird wahrnehmen können. Diese wird also die gröſste Genauigkeit in der Vergleichung erreichen lassen; gröſsere oder geringere Helligkeit wird unvortheilhafter sein. Insonderheit sind ungeeignet eine Reihe älterer Methoden, bei denen man zu ermitteln suchte, welche Dicke einer absorbirenden Substanz man anwenden muſste, um das Licht ganz verschwinden zu machen, weil diese von dem sehr unsicheren Werthe der kleinsten Reizschwelle abhängen.

Eine fernere wesentliche Bedingung ist die, daſs die beiden Felder, deren Helligkeit verglichen werden soll, dicht an einander stoſsen, mit scharf accommodirbarer, scharfer Grenzlinie, die durch nichts andres Sichtbares als durch den Unterschied der Helligkeit bezeichnet sein darf. Jede noch so feine helle oder dunkle Linie, die die Grenze markirt, macht die Vergleichung weniger sicher.

LAMBERTs oben erwähnte Methode[1] mit den zwei Schatten desselben Stabes entspricht dieser Forderung ziemlich gut. Wenn man den Stab in solcher Entfernung von dem weiſsen Schirm, diesem parallel, hält, daſs die zwei Schatten welche die beiden Lichter entwerfen, sich gerade berühren, so schlieſsen sich die beiden Schattenfelder ziemlich gleichmäſsig an einander. Damit sie es aber vollständig thun, würden beide Lichtquellen vom Stabe aus gesehen ganz gleiche scheinbare Breite im Gesichtsfelde haben müssen, was selten zutreffen wird. Auch würden die beiden Schattengrenzen nicht ganz scharf gezeichnet sein, sondern durch Halbschatten in Hell übergehen. Ferner ist die helle Umgebung störend, deren Beleuchtung doppelt so stark, als die der beiden zu vergleichenden Schatten ist weil sie das Auge etwas blendet.

Noch vollkommener wurde das Verschwinden der Grenzlinie durch R. BUNSENs Photometer erreicht. Ein Papierblatt, auf dem mit heiſsem Wachs oder Paraffi[n] ein Fettfleck gemacht ist, wird von vorn und hinten beleuchtet. Der nicht gefettet[e] Theil des Papiers wirft nahehin alles Licht, was an der vordern Seite darauf fäll[t] zurück, und läſst nur sehr kleine Mengen von der hintern Seite durchscheinen. Umgekehrt der Fettfleck. Bei einem gewissen Verhältniſs der Entfernungen beider Lichter wird der Fettfleck gerade so hell erscheinen, wie das ungefettete Papier indem genau ebenso viel von dem hintern Lichte im Flecke nach vorn dringt, a[ls] vom vorderen Lichte verloren geht, während es seinen Weg nach hinten fortsetzt. Dann wird der Fleck unsichtbar. Bringt man das hintere Licht näher heran, [so] erscheint er heller als der Rest des Papiers, dunkler dagegen, wenn man dasselbe Licht entfernt. Das Verhältniſs, in welchem die beiden Beleuchtungen stehen müssen, um den Fettfleck unsichtbar zu machen, ergiebt sich, wenn man mit zw[ei] gleichen Kerzen die Versuche anstellt, und das Verhältniſs ihrer Entfernungen vo[m] Papier ermittelt, die den Fleck verschwinden machen. Zur Prüfung ihrer Gleichheit vertauscht man die beiden Kerzen und wiederholt die Messung.

Das BUNSENsche Photometer ist viel gebraucht worden, namentlich für d[ie] technischen Lichtmessungen. Es findet aber bei demselben der nachtheilige Un[um]stand statt, daſs der Fettfleck ein Gemisch beider Beleuchtungen zeigt, die verglich[en] werden sollen und nur der ungefettete Rand, wenn er ganz undurchsichtig ist, d

[1] POGG. *Ann.* Bd. 63. S. 578.

rkung des vorderen Lichtes allein. Denn, wenn wir auch in dem letzteren günsten Falle mit A die Helligkeit des von vorn beleuchteten dunkleren Randes eichnen, mit a die geringere Helligkeit, welche der Fettfleck bei Beleuchtung n vorn vor dunklem Hintergrunde zeigt, mit B aber seine Helligkeit, wenn er r durch das hintere Licht beleuchtet ist; so ist der Unterschied beider Helligkeiten

$$A - (B + a) = (A - a) - B$$

er die beiden Helligkeiten $(A-a)$ und B, deren Unterschied wahrgenommen rden soll, sind beide noch gleichmäfsig überdeckt von der gemeinsamen Helligt a, wodurch die Wahrnehmung ihres Unterschieds erschwert wird.

Es ist leicht einzusehen, dafs man gröfsere Genauigkeit in der Vergleichung eichen mufs, wenn das zweite Feld eine Helligkeit zeigt, die nur von der hinteren htquelle abhängt. Diese Aufgabe liefs sich mittels des von den Herrn LUMMER l E. BRODHUN[1] construirten Photometers lösen, in welchem die totale Reflexion nutzt wird, um die beiden beleuchteten Flächen von einander zu scheiden.

Zur Erläuterung des von den genannten Autoren benutzten Princips gehen wir von Fig. 164 aus. Es seien $l\,l$ und $\lambda\,\lambda$ diffus leuchtende Flächen, A und B sei eine derige Combination zweier rechtwinkliger Glasprismen, dafs an gewissen Stellen (pq und) der Hypotenusenfläche des Prismas B das von λ kommende Licht nach O reflectirt d, während es an den übrigen Stellen (qh) durch das Prisma hindurch nach r geht. s Umgekehrte soll bei den von l ausgehenden Strahlen in Bezug auf die Hypotenusenhe des Prismas A stattfinden. Accommodirt ein bei O befindliches Auge auf die Fläche hi, so erblickt es also den Theil qh derben mit dem Lichte von l, den Theil pq d hi mit dem Lichte von λ erleuchtet. Bei em gewissen Intensitätsverhältnifs der Felder nd λ wird $pqhi$ als eine vollständig gleichfsig helle Fläche erscheinen.

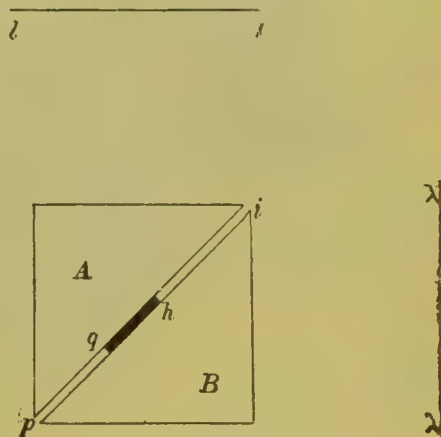


Fig. 164.

Geeignete Prismencombinationen lassen h in folgender Weise herstellen:

1. Die beiden Prismen A und B sind bei mittels einer Substanz vom Brechungsindex s Glases zusammengekittet, während bei pq d hi die Hypotenusenflächen durch Luft rennt sind. Um die Grenze zwischen den iden Feldern im Moment der Gleichheit zum rschwinden zu bringen, ist es nothwendig und B möglichst fest an einander zu pressen. ese Combination bietet die Möglichkeit, auch n r aus das Verschwinden zu beobachten, dafs gleichzeitig zwei Personen einstellen nnen. Gleichheit der Felder findet hier statt, wenn l und λ dieselbe Intensität besitzen.

2. Die Hypotenusenfläche des Prismas B wird versilbert und an der Stelle qh die berschicht entfernt; hierauf werden die beiden Prismen mit geeignetem Kitt verbunden. e Metallreflexion bewirkt, dafs die Gleichheit der Felder nur bei ungleicher Helligkeit n l und λ herbeigeführt wird. Durch Auskratzen der verschiedensten Figuren kann n die Gestalt der Felder variiren.

[1] O. LUMMER und E. BRODHUN, Photometrische Untersuchungen. *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 9. S. 41.

3. Die Hypotenusenfläche des Prismas *A* ist nicht eben, sondern kugelförmig geschliffen und an die ebene Hypotenusenfläche von *B* angepreſst (*Fig. 165*). Bei genügend starkem Druck entsteht eine kreisrunde Berührungsfläche bei *m*; alle auf diese Fläche auftreffenden Strahlen gehen vollständig durch sie hindurch, welches auch ihr Einfallswinkel sein mag. Ist es der Winkel der totalen Reflexion, so sieht man bei Abblendung der Lichtquelle *l* in der leuchtenden Hypotenusenfläche von *B* einen schwarzen elliptischen Fleck mit allmälig heller werdendem Rande. Bei kleinerem Einfallswinkel lagern sich um diesen dunklen Fleck als Centrum die Newton-schen Interferenzringe

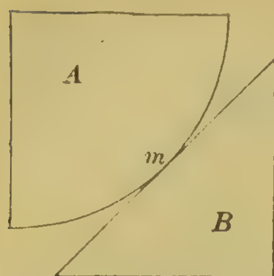


Fig. 165.

Bei Anwendung stärker gekrümmter Kugelflächen wird der Rand des elliptischen Flecks zwar ausreichend scharf, aber gleichzeitig damit tritt eine solche Verkleinerung des Flecks ein, daſs die an demselben auftretende Beugungserscheinung das Phänomen stört.

4. Die kugelförmige Oberfläche des Prismas *A* wird bei *cd* (*Fig. 166*) eben angeschliffen und gegen die gleichfalls ebene Hypotenusenfläche des Prismas *B* gepreſst. Der in diesem Falle auftretende, elliptisch erscheinende Fleck hat durchaus scharfe Ränder und verschwindet bei Gleichheit der Felder vollständig. Diese Combination genügt sehr gut allen Anforderungen.

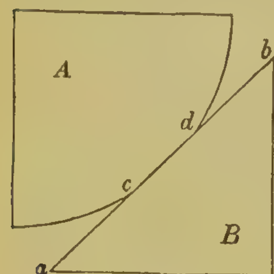


Fig. 166.

5. Die beiden Prismen werden auf ihrer ganzen Hypotenusenfläche gegen einander eben abgeschliffen. Dann wird irgend eine Zeichnung in die Fläche des Prisma *A* eingeätzt und wiederum das Prismenpaar innig aneinander gepreſst. Wenn die Ätzung tief genug ist, so befindet sich an den geätzten Stellen Luft zwischen den Hypotenusenflächen, sodaſs die geätzte Figur im reflectirten Lichte hell auf schwarzem Grunde und im durchgehenden Lichte schwarz auf hellem Grunde erscheint. Der Vorzug dieser Methode ist, daſs hier den Figuren jede gewünschte Form gegeben werden kann.

Bei der Anwendung aller beschriebenen Prismencombinationen müssen zum vollständigen Verschwinden der Grenze zwischen den beiden Feldern die Flächen *l* und *λ* gleichmäſsig diffus leuchtend sein, also etwa beleuchtete Papiere, Milchglasplatten u. s. w. Ferner darf die Fläche *l* nur Licht von der einen, *λ* nur Licht von der andern der zu vergleichenden Flammen erhalten.

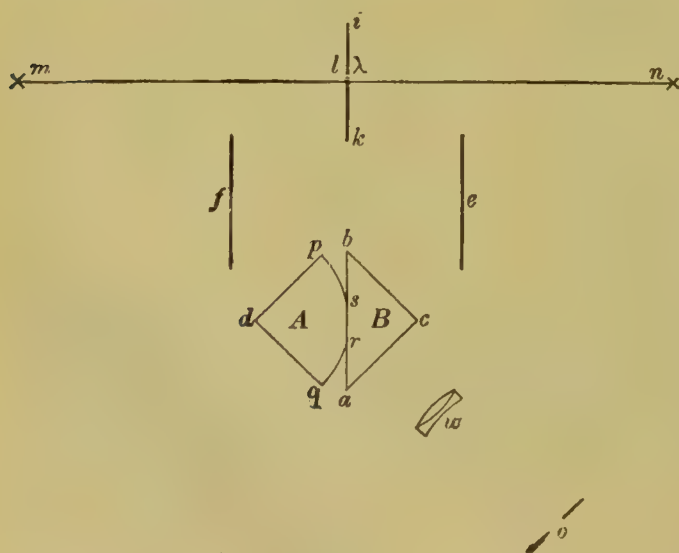


Fig. 167.

Es kam noch darauf an, unter Benutzung einer der angegebenen Prismencombinationen ein für die praktische Lichtmessung geeignetes Photometer herzustellen, welches also ebenso wie das Bunsen'sche, auf einer geraden Photometerbank verschiebbar sein muſste. Die Autoren wählten die in *Fig. 167* skizzirte Anordnung. Lothrecht zur Axe der Photometerbank steht der Schirm *ik*, welcher gar kein Licht hindurch läſst und dessen beide Seiten von den Lichtquellen *m* bezw. *n* erleuchtet werden. Das diffuse, von den Schirmseiten *λ* und *l* ausgehende Licht fällt auf die Spiegel *e* bezw. *f*, welche es senkrecht auf die Kathetenflächen *cb* und *dp* der Prismen *B* und *A* werfen. Der

ˌbachter bei *o* blickt durch die Lupe *w* senkrecht zu *a c* und stellt scharf auf die ·che *a r s b* ein.

Figur 168 giebt eine perspectivische Ansicht des nach dieser Anordnung in der ·sikalisch technischen Reichsanstalt ausgeführten Photometers. Die vertikale messingene ·le *s* trägt die Metallschiene *b*, auf welcher die Säulchen s_1 und s_2 aufgeschraubt sind. In oberen Theilen der letzteren sitzen die Schrauben m_1 und m_2, in deren Enden .ische Pfannen eingedreht sind. Diese Pfannen bilden das Lager für die horizontale · *a* des Photometergehäuses *h*. Am Gehäuse ist bei *w* das Rohr *r* mit der verschieb·en Lupe angebracht. Im Innern des Gehäuses liegen die Prismencombination *A B*, beiden Spiegel, von welchen nur der eine *f* zu sehen ist, und der Photometerschirm *P*. ·zterer sitzt im Rahmen n_1, dessen Fufsplatte auf dem Boden des Gehäuses *h* ver·iebbar und feststellbar ist; der Schirm kann behufs Erneuerung oder Drehung um Grad aus dem Rahmen n_1 entfernt werden. Jeder der Spiegel *e* und *f* ist mit Hülfe

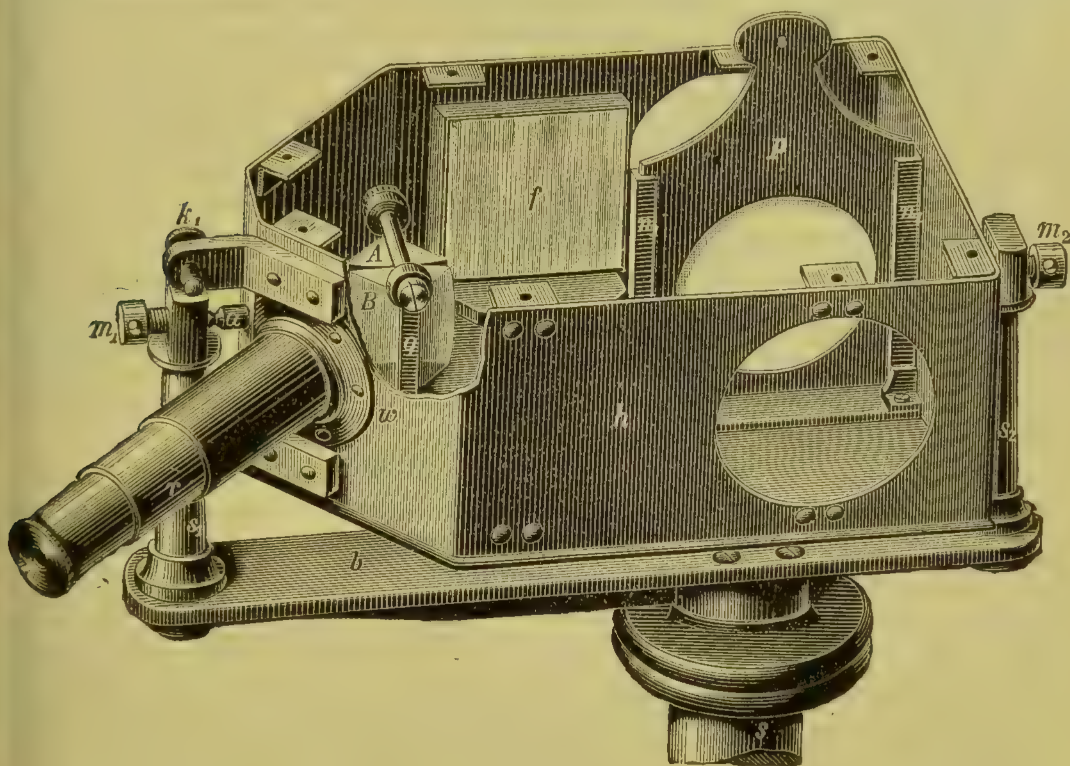


Fig. 168.

·weier durch den Boden von *h* hindurchreichender Schrauben von aufsen her um eine ·izontale sowie um eine verticale Axe drehbar. Die Fassung *q* prefst die Prismen *A B* innig aneinander und ruht auf einer Platte, welche in gleicher Weise beweglich ·wie der Rahmen n_1. Das Gehäuse *h* wird durch einen in der Figur abgenommenen ·kel mit Schlitz für den Griff des Schirmes *P* geschlossen. Durch die seitlichen Öff·gen kann Licht zum Papier von *P* gelangen. Bei der dargestellten Lage des Photo·ergehäuses wird ein als Anschlag dienender, in *Fig. 168* nicht sichtbarer Schrauben·f k_2 durch eine an der Säule s_1 verschiebbare Hülse fest an die Säule angedrückt. ·h Drehung der Axe des Gehäuses um 180 Grad dient ein zweiter Schraubenkopf k_1 ·Anschlag. Die auf einem Schlitten der Photometerbank angebrachte Säule *s* kann auf ab bewegt und um eine vertikale Axe gedreht werden.

Der zu den Versuchen benutzte Schirm bestand aus doppelten Lagen Papier, ·che durch ein Stanniolblatt getrennt sind. Man taucht das Papier in Wasser, trocknet ·mit Fliefspapier und klemmt es noch feucht zwischen die beiden Metallplatten des ·rms *P*. Auf diese Weise erhält man einen vollkommen undurchsichtigen Schirm mit ·ebenen und diffus reflektirenden Flächen. Dasselbe erreicht man durch eine Gyps-

platte oder eine beiderseitig matt weiſs angestrichene Metallplatte. *e* und *f* sind au- gesuchte, ebene, mit Quecksilberamalgam belegte Spiegel, welche von demselben Stüc geschnitten sind. Statt derselben können natürlich auch total reflectirende Prisme benutzt werden. Vor der Lupe ist in gewisser Entfernung ein Diaphragma angebrach welches gröſser als die Pupille sein muſs. Dem Gesichtsfelde kann man dadurch ein scharfe Umgrenzung von gewünschter Form geben, daſs man die äuſseren Theile de Hypotenusenfläche von *B* mit Asphaltlack bestreicht.

Man konnte bei diesem Photometer eine Änderung von 1,5 % der Intensität eine Lichtquelle ohne Weiteres deutlich wahrnehmen; der mittlere Fehler einer Einstellun bleibt unter 0,5 %. Bei den Versuchen zur Prüfung der Genauigkeit wurden als Lich quellen die Spiegelbilder einer und derselben von Accumulatoren gespeisten Glühlich lampe, welche hinter der Mitte der Bank, fest mit ihr verbunden, in Höhe des Phot meterschirmes aufgestellt war, verwendet. Die Spiegel sitzen auf der Bank zu beide Seiten der Glühlichtlampe; zwischen ihnen ist das Photometer verschiebbar. Ma orientirt die Spiegel so, daſs die Verbindungslinie der durch sie entworfenen Bilde durch die Mitte des Schirmes geht. Der Abstand der Bilder betrug bei diesen Versuche 2600 *mm*. Bei der Ablesung des Index wurden Zehntelmillimeter geschätzt. Die Ve suchsreihen wurden so ausgeführt, daſs Jeder der beiden Beobachter 10 Einstellunge machte, aus denen der mittlere Fehler einer Einstellung berechnet wurde.

Bei allen Empfindlichkeitsbestimmungen wurde darauf gesehen, daſs sich die Helli keit der Felder in dem Bereich befand, in dem mit groſser Annäherung das psych physische Grundgesetz gilt. Bekanntlich nimmt bei geringerer Helligkeit die Empfin lichkeit unseres Auges schnell ab. Bei praktischen Lichtmessungen ist dieser Umstan wie schon oben erwähnt, insofern sehr störend, als man es mit sehr lichtschwachen Ei heiten zu thun hat. Um mit ihnen eine genügende Beleuchtung des Schirmes zu e zielen, muſs man sie so nahe an das Photometer bringen, daſs die genaue Messung d Entfernung schwierig wird.

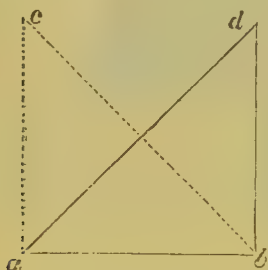


Fig. 169.

Nahe und enge Aneinanderstellung von Flächen, die von ve schiedenen Lichtquellen her beleuchtet sind, hat Herr E. Brücke in andrer Weise erzielt, indem er aus gleich dicken, und nic zu dicken nahezu planparallelen schlierenfreien farblosen Gla platten gleich groſse rechtwinkelige Dreiecke schneiden lie diese mit ihren Flächen zu einem dreikantigen Prisma aufeinande kittete, und das Prisma, wenn der Kitt hinreichend fest geworde war, an seiner Hypotenusenfläche und den beiden Kathetenfläch abschleifen und poliren lieſs. Dann löste er den Kitt wieder a und reinigte die einzelnen Dreiecke und legte sie in ein besonde dazu hergestelltes Gestell *Fig. 170* trocken übereinander, daſs je eine Kathete *ab* jed Dreiecks in die dem Beobachter zugekehrte Vorderebene der Glasmasse fiel, d Hypotenusen je zweier aufeinanderfolgender Dreiec *ad* und *bc* sich dagegen rechtwinkelig schnitten, w es *Fig. 169* darstellt.

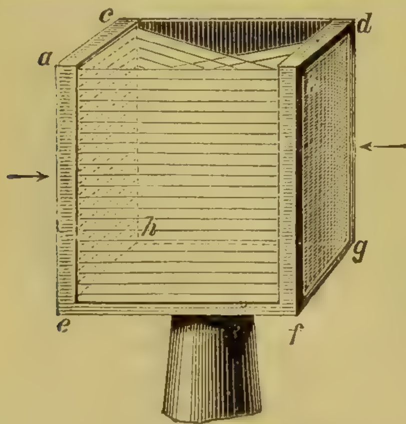


Fig. 170.

Die Seitenflächen des Gestells *ache* und *bdfg* si mit durchscheinendem Papier geschlossen und durch d zu vergleichenden Lichter beleuchtet. Der Beobacht sieht an der Vorderseite abwechselnde Streifen der ein und andern Beleuchtung, die von den Hypotenuse flächen gespiegelt sind, und versucht durch Entfern und Annähern der Lichter dieselben gleich zu mache Für gleichfarbige Beleuchtung würde dies ausreiche Für Vergleichung verschieden gefärbter Lichter nim er dann noch Verringerung der scheinbaren Gröſse d Streifen zu Hülfe, indem er entweder in gröſsere E

[1] E. Brücke, „Über zwei einander ergänzende Photometer" in *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 18 Januar.

rnung geht, dabei für vollkommen gute Accommodation durch Brillengläser sorgend, der das streifige Feld durch einen umgekehrten Operngucker in verkleinertem Bilde etrachtet. So sucht er zu ermitteln, bei welchem erhältnifs der Beleuchtungen der Unterschied der treifen bei verhältnifsmäfsig gröfster scheinbarer Gröfse es Bildes verschwindet.

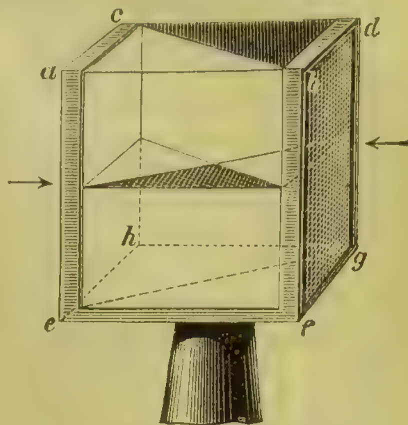


Fig. 171.

Ein ähnlich construirter Apparat, der aber nur wei dickere Prismen *Fig. 171* enthält, dient dazu bei enselben Beleuchtungen Versuche über die Erkennarkeit kleiner Objecte anzustellen, die an den beiden eitenflächen des Gestells angebracht sind z. B. Zeichungen mit feinen Linien oder feine Gewebe.

LEONHARD WEBER[1] hat ebenfalls ein Photometer ngegeben bei dem eine Nebeneinanderstellung der von wei Lichtquellen gegebenen Beleuchtungen mit wenig ichtbarer Trennungslinie hergestellt ist. Diese wird ur durch die Kante eines total reflectirende rechtinkeligen Prisma gebildet; die hellen Felder sind von transparenten Milchglasplatten ebildet, von denen die eine direct, die andere reflectirt gesehen wird. Wir kommen arauf bei der heterochromatischen Photometrie zurück.

Contrastphotometer. Die Aufgabe des Beobachters bei diesen Photometern st zu entscheiden, ob die Deutlichkeit der Unterscheidung von zwei gleichzeitig nd nahe neben einander unter übrigens gleichen Umständen gesehenen Feldern, ie sich sehr wenig von ihrem Grunde unterscheiden, gleich oder verschieden ei. Es handelt sich also darum zwei sehr kleine Lichtunterschiede in Bezug uf ihre Erkennbarkeit mit einander zu vergleichen. Das Princip dieser Methode st zuerst angewendet worden von Herrn FR. RÜDORFF,[2] und derselbe erkannte uch die überlegene Genauigkeit dieser Methode, der älteren gegenüber, welche uf Ununterscheidbarkeit einstellt. RÜDORFF stellte das mit einem Fettfleck verehene senkrechte Blatt eines BUNSENschen Photometers zwischen zwei gegen das Blatt unter einem passenden Winkel geneigte ebenfalls senkrechte Planspiegel, so lafs der Beobachter jede der beiden Flächen des Papiers mit ihrem Fleck in je inem der Spiegel sah, beide dicht neben einander. Der Contrast ist aber hierbei meist zu grofs, als dafs das Maximum der Empfindlichkeit erreicht wurde. Erst lie durch LUMMER und BRODHUN[3] angegebene Modification ihres oben beschrieenen Photometers erlaubt die Gröfse des Unterschieds zu verändern und die ortheilhaftesten Bedingungen für jeden Beobachter herauszusuchen. Für sehr eübte Beobachter ist ein kleinerer Unterschied der Beleuchtung (2 bis 3 %) am ortheilhaftesten, als für ungeübte (3,5 %).

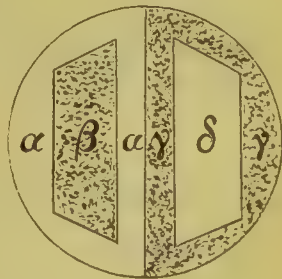


Fig. 172.

Die genannten Beobachter brauchten wiederum zwei mit den Hypotenusenflächen an einander gelegte rechtwinkelige Prismen, nd die gleiche Beleuchtungsweise, wie in ihrem vorher beschrieenen Apparate, wo auf Gleichheit der Helligkeit der beiden Flächentheile eingestellt wird. Für das Contrastphotometer ist) die durch Sandgebläse eingeätzte Figur der einen Hypotenusenfläche abweichend, nämlich nach neuster Angabe entsprechend ler *Fig. 172.* Die punctirten Flächenstücke sind geätzt, und geben otale Reflexion des gespiegelten Lichts, die leeren sind in optischem Contact mit dem andern Prisma und zeigen das durchehende Licht.

[1] L. WEBER, Mittheilung über einen photometrischen Apparat in *Wiedemann's Annalen.* XX. 326.
[2] FR. RÜDORFF, „Über das BUNSENsche Photometer", *Pogg. Ann.* Jubelband. S. 234.
[3] O. LUMMER und E. BRODHUN, „Photometrische Untersuchungen II" in *Zeitschrift für Instrumentenkunde.* December 1889.

2) Um kleine veränderliche Differenzen der Lichtstärke zu erreichen, sind auf jeder Seite zwei verticale drehbare Glasplättchen hinzugefügt, nach dem in dem Grundrifs *Fig. 173* hinzugefügten Schema. *ah* ist ein Horizontalschnitt der Hypotenusenflächen der Prismen; die schwarzen Stellen zeigen die Orte des optischen Contacts an, die hellen die der totalen Reflexion. In Folge dessen gehen Strahlen durch das Prisma, theils geradlinig, wie *cc* und *dd*, theils reflectirt, wie *ee* und *ff*. In den Weg der Strahlen *ff* und *cc* sind zwei ebene Glasplättchen *p h* und p_1 h_1 angefügt, den Prismenflächen parallel liegend, mit dünner Luftschicht dazwischen; in *p* und p_1 sind zwei verticale Axen angebracht, um welche sich andre Glasplatten derselben Art *pk* und $p_1 k_1$ drehen können. Durch eine Gelenkverbindung klp_1 wird bewirkt, dafs der Winkel *hpk* dem Winkel $k_1 p_1 h_1$ immer gleich bleibt. Da die beiden Platten *kp* und $k_1 p_1$ von den Strahlen schräg durchlaufen werden, so geht in ihnen etwas mehr Licht durch Reflexion und Absorption verloren, als in *ph* und $p_1 h_1$. Die Ränder der Glasplatten und das Gelenk *p* bleiben von *O* her gesehen hinter dem total reflectirenden Streifen γ versteckt. Ebenso wird p_1 so gelegt, dafs sein Spiegelbild hinter dem vollkommen durchsichtigen Streifen erscheinen müfste, aber wegen mangelnder Reflexion nicht erscheint. Die Mittelfelder β und δ unterliegen nur dem schwächeren Lichtverluste in den senkrecht durchstrahlten Glasplatten *ph*, die Randfelder dagegen $\alpha\alpha_1$ und $\gamma\gamma_1$ dem stärkeren Verluste durch die schräg gestellten Platten *pk*. Ist das Photometer also auf Gleichheit der symmetrisch liegenden Felder eingestellt, so erscheinen beide Mittelfelder etwas heller als die Randfelder. Kommt aber ein Helligkeitsunterschied zwischen dem durchgelassenen und total reflectirten Licht hinzu, so addirt sich derselbe im einen Felde, im andern subtrahirt er sich zu und von der Helligkeitsdifferenz der Mittelfelder. Diese wird auf der einen Seite deutlicher, auf der andern undeutlicher.

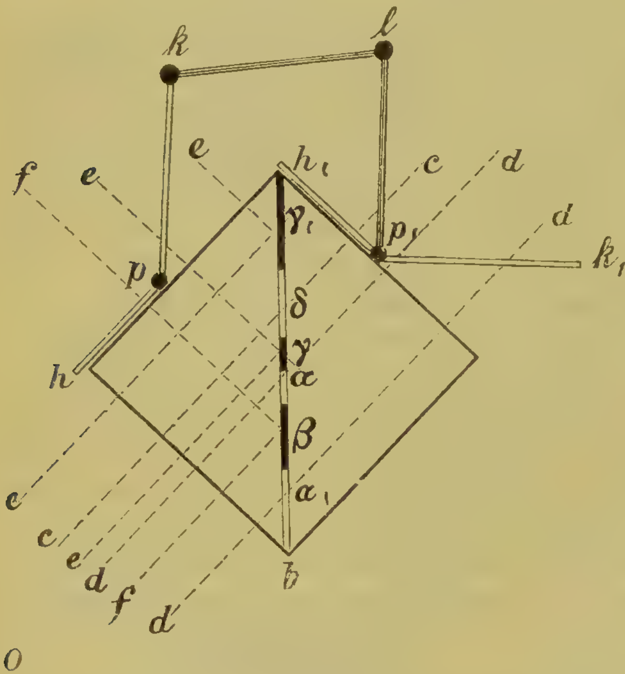


Fig. 173.

Bei geringerem Contrast als 3 % sind die Einstellungen, da sie dem Schwellenwerth zu nahe liegen zu ermüdend. Bei 18 % Contrast ist die Empfindlichkeit schon entschieden geringer als beim Gleichheitsphotometer, wo, wie oben erwähnt, der mittlere Fehler sich auf etwa 0,5 % beläuft. Farbenunterschiede stören das Contrastphotometer mehr als das Gleichheitsphotometer.

Um einen Begriff von der Genauigkeit der Einstellungen zu geben, haben die genannten Beobachter Messungen mit verschiedenen Contrasten angestellt, und die mittleren Fehler einer Einstellung aus je 20 hinter einander angestellten Beobachtungen berechnet, wie folgt:

Contrast	3 %	3,5 %	7 %	10 %	18 %
Mittlerer Fehler einer Einstellung	0,24 %	0,22 %	0,39 %	0,43 %	0,81 %

Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität.
Ich habe schon oben (S. 255 und 264) erwähnt, dafs die Erkennbarkeit einer Gesichtsobjecte in hohem Grade von der Beleuchtungsstärke abhängt. iese Thatsache ist seit langer Zeit bekannt. Schon TOBIAS MAYER (1754) obachtete, dafs die Sehschärfe bei schwacher Beleuchtung abnimmt, bei eigender Beleuchtung dagegen zunimmt, bis Blendung eintritt, wo sie wieder ringer wird. Bei der Wichtigkeit, welche in neuerer Zeit die Messungen r Sehschärfe für die Augenheilkunde erreicht haben, sind diese Studien elfach wieder aufgenommen worden.

Neuere methodische Bestimmungen der Sehschärfe in verschiedenen ectralfarben bei wechselnder Beleuchtungsstärke sind zunächst von den erren MACÉ DE LÉPINAY und NICATI[1] gemacht worden, wobei sich in der hat herausstellte, dafs auch die Sehschärfe in den blauen Farben bei genger Lichtstärke dieselbe Überlegenheit zeigt, wie die scheinbare Helligit. Dasselbe Resultat wurde von Herrn W. UHTHOFF[2] bestätigt für eine el breitere Abstufung der Lichtstärken, als seine Vorgänger angewendet tten.

Für seine Versuche mit Spectralfarben hat sich derselbe ein grofses mit der rbe gleichmäfsig gefülltes Feld nach der in *Fig. 128* S. 301 skizzirten Methode rschafft, indem er das Glasprisma durch ein viel gröfseres Flüssigkeitsprisma ertzte, welches mit dem stark dispergirenden zimmtsauren Äthyloxyd gefüllt war. or der hellen farbigen Fläche war eine verschiebbare Glastafel mit den von ELLEN neuerdings für die ärztlichen Prüfungen der Sehschärfe (S. 264) eingehrten Gesichtszeichen angebracht. Es sind dies Häkchen von der Form ⊔ und], welche vor dem hellen Grunde liegen, und von einem Assistenten gedreht erden können. Sie werden ohne Wissen des Beobachters mit ihrer Öffnung bald ch oben, oder unten, rechts oder links gekehrt, und der Beobachter mufs danach geben, wie sie stehen. Als Einheit der Sehschärfe gilt es, wenn er dies für das ste Zeichen unter einem Gesichtswinkel von 4′40″, für die zweiten unter einem n 5′ thun kann. Dieser Einheitswinkel, dividirt durch den Sehwinkel, unter dem e Unterscheidung möglich ist, giebt den Werth der Sehschärfe. Da bei verschienen Lichtstärken gearbeitet werden sollte, wurde der Einflufs der Pupillenweite seitigt, indem der Beobachter durch eine Öffnung von 1,06 mm Durchmesser sah. e Helligkeit wurde durch bilaterale Erweiterung des Spaltes erreicht, der das cht zum Prisma eintreten liefs. Die Beleuchtung kam von einem Triplex-Gasbrenner.

Die Versuche ergaben für alle Farben das gemeinsame Resultat, dafs e Sehschärfe bei kleiner Lichtstärke mit dieser letzteren sehr schnell eigt, dann bei steigender Beleuchtung in eine Periode immer langsamerer nahme übergeht. Ein Maximum der Sehschärfe wurde bei den ersten it Gaslicht angestellten Versuchen nicht erreicht.

Indessen hat derselbe Beobachter vereint mit Herrn A. KÖNIG[3] die

---

[1] J. MACÉ DE LÉPINAY et W. NICATI, *Ann. d. chim. et de phys.* Sér. 5. T. 24. p. 289. 1881 und T. 30. 145. 1883.

[2] W. UHTHOFF, Über das Abhängigkeitverhältnifs der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. *aefe's Archiv.* Bd. XXXII. (1.) S. 171 und XXXVI. (1.) S. 33.

[3] In der zweiten der oben citirten Abhandlungen und in *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der nnesorgane.* Bd. I. S. 155.

Versuche noch fortgesetzt unter Anwendung von Zirkonlicht, um das Maximum der Sehschärfe zu erreichen, und später auch als Gesichtsobject Stäbchengitter angewendet, (wie in § 18 S. 257—259 oben). Sie bekamen dabei fast gleiche maximale Sehschärfen für alle Farben, deren kleine Unterschiede als zufällig erscheinen, namentlich da sie bei beiden Beobachtern entgegengesetzt im Sinne waren. Für die Gesammtbreite von einem schwarzen und einem hellen Bande fanden sie den Gesichtswinkel:

W. U.:	Maximum (Roth und Violett)	56′,5
„	Minimum (Gelb und Gelbgrün)	53′,2.
A. K.:	Minimum (Roth)	63′,4
„	Maximum (Gelb und Violett)	66′,9.

Diese Zahlen sind mit denen der letzten Columne der Tabelle auf S. 259 vergleichbar.

Die von Herrn W. Uhthoff nach seinen Messungen entworfenen Curven, welche die Sehschärfe als Function der Helligkeit darstellen, sind in ihrem Verlaufe den andern ziemlich ähnlich, welche A. König und E Brodhun für die Unterschiedsschwellen der Lichtstärke entworfen haben (*Fig. 163*, S. 412). Die Curven für die blauen Farben unterscheiden sich, wie dort durch einen viel flacher gewölbten Übergang aus dem schnell in den langsam steigenden Theil der Curve.

Leider ist die Reduction dieser Curven der Sehschärfe auf Lichteinheiten von nahehin gleicher Helligkeit, wie sie die Herren A. König und E. Brodhun gebraucht haben, nicht mit wünschenswerther Genauigkeit zu vollziehen. Annähernd kann man es erreichen durch Benutzung der Angaben, welche Herr E. Brodhun in seiner später zu besprechenden Dissertation über die Vertheilung der Helligkeit im Spectrum einer ähnlichen Gasflamme gemacht hat, die übrigens auch für das trichromatische Auge des Herrn A. König ausreichend gut pafsten. Es sind dies, wie in den Tabellen S. 405 bis 408, Lichteinheiten, die in gleicher, und hinreichend grofser Anzahl genommen allen Farben nahe gleiche Helligkeit geben. Ich gebe in der folgenden Tabelle Uhthoffs Zahlen in dieser Umrechnung, indem ich die von ihm angegebenen Lichtstärken, die zunächst gleichen Spaltbreiten entsprachen, mit Coëfficienten multiplicirt habe, die den von Brodhun angegebenen Helligkeiten der einzelnen Regionen des durch ein Glasprisma entworfenen Spectrum einer gleichartigen Flamme entsprechen. Bei der geringen Genauigkeit, welche dies Verfahren gewähren kann, habe ich die Unterschiede der Dispersion des zimmtsauren Äthyloxyds und des Glases vernachlässigen zu dürfen geglaubt.

Am unsichersten ist der Coëfficient für das Violett, da dieser nur durch Extrapolation gewonnen ist. Im Ganzen aber zeigt diese Zusammenstellung, dafs wenn wir die Uhthoffschen Messungen auf Lichteinheiten beziehen, die bei gröfserer Intensität gleich hell erscheinen die kleineren Grade der Sehschärfe im Violett und Blau schon bei viel geringen Lichtmengen erreicht werden, als im Gelb und Roth dafs aber bei höheren Beleuchtungsstärken die Unterschiede zwischen benachbarten Farben viel geringer werden, beziehlich verschwinden. Leider fehlen für die blauen Farben die höheren Intensitäten, und der Gang der Zahlen zeigt noch mancherlei Unregelmäfsigkeiten, die bei allen solchen Beobachtungen über die Grenze der Wahrnehmbarkeit nicht überraschen können. Wir finden durchgehend die Sehschärf

Tafel der Sehschärfen für verschiedene Farben und Helligkeiten.

Wellenlänge	670 μμ	605 μμ	575 μμ	505 μμ	470 μμ	430 μμ
Coëfficient	2,04	9,15	6,95	0,532	0,0567	0,0084
Sehschärfe	Helligkeit					
0,13	—	—	—	0,0266	—	—
0,14	—	—	—	—	0,00567	—
0,18	—	—	—	—	—	0,00168
0,23	—	—	—	—	0,01134	—
0,24	—	—	0 3475	—	—	—
0,35	—	—	—	0,0532	—	0,00504
0,39	—	—	—	—	—	0,00672
0,40	—	0,4575	—	—	—	—
0,41	—	—		—	0,02268	—
0,48	—	—	—	—	—	0,00840
0,61	—	—	—	—	0,03402	—
0,67	—	—	—	0,1064	—	—
0,73	—	—	—	—	—	0,0168
0,74	—	—	—	—	0,0454	—
0,76	0,204	—	—	—	—	—
0,84	—	—	—	—	0,0567	—
0,90	—	—	—	—	—	0,0336
0,94	—	—	—	0,1596	—	—
1,02	—	—	—	—	—	0,0504
1,03	—	—	—	—	0,1134	—
1,10	—	—	—	—	—	0,0672
1,12	0,408	—	—	—	—	—
1,18	—	—	—	0,2128	—	0,0840
1,24	—	0,915	—	—	—	—
1,26	—	—	—	—	0,2268	—
1,29	—	—	—	0,266	—	—
1,32	—	—	1,0425	—	—	—
1,34	—	—	—	0,2592	—	—
1,38	—	—	—	—	0,3462	—
1,39	0,612	—	—	—	—	—
1,45	—	—	—	—	0,4536	—
1,56	—	—	—	—	0,5670	—
1,59	—	—	2,085	—	—	—
1,60	—	—	—	0,3456	—	—
1,64	0,820	—	—	0,4788	—	—
1,65	—	1,830	—	—	—	—
1,69	1,224	—	—	0,5532	—	—
1,79	1,428	—	—	—	—	—
1,80	1,632	—	—	—	—	—
1,83	—	3,66	—	—	—	—
1,84	2,04	—	2,78	—	—	—
1,91	—	—	3,475	—	—	—
1,93	—	—	—	1,064	—	—
1,94	4,08	—	—	—	—	—
1,98	—	5,49	4,17	2,66	—	—
1,99	—	7,32	—	—	—	—
2,03	10,20	—	—	4,156	—	—
2,05	—	—	—	5,32	—	—
2,08	—	—	5,56	—	—	—
2,09	16,32	—	—	—	—	—

Sehschärfe	670 μμ	605 μμ	575 μμ	505 μμ	470 μμ	430 μμ
2,10	—	9,15	—	—	—	—
2,12	—	—	6,95	—	—	—
2,17	—	—	13,90	—	—	—
2,21	—	—	20,85	—	—	—
2,25	—	36,60	27,80	—	—	—
2,29	—	—	41,70	—	—	—
2,31	—	—	55,60	—	—	—
2,32	—	54,90	—	—	—	—
2,35	—	73,20	—	—	—	—
2,37	—	91,50	—	—	—	—

wachsend, wo die Empfindlichkeit für Unterschiede der Lichtstärke (d. h. die Klarheit), wächst und umgekehrt. Die einzige durchgehende Abweichung liegt in dem Verhältniſs zwischen dem Roth einerseits, Gelb und Gelbgrün andrerseits, in dem die letzteren und nicht Roth sich als diejenigen Farben zeigen, die bei niedriger Intensität die geringsten Sehschärfen geben, während andrerseits die Klarheit nach den Versuchen von A. König und E. Brodhun für die geringen Helligkeiten gerade im Roth verhältniſsmäſsig am kleinsten ist, und sich dieses am meisten von den blauen Farben entfernt, die das Purkinjesche Phänomme zeigen.

Der ganze Gegenstand ist zu neu, als daſs sich entscheiden lieſse, wie viel individuelle Abweichungen hier mit sprechen. Bestimmteres wird sich erst sagen lassen, wenn derselbe Beobachter bei denselben Beleuchtungen Sehschärfen und Helligkeiten verglichen hat.

Vergleichung verschiedener Farben betreffs ihrer Helligkeit.

Daſs man auch verschiedene Farben in Bezug auf ihre Helligkeit vergleichen kann, ist im Vorigen mehrfach erwähnt worden. Aber die Sicherheit und Genauigkeit einer solchen Vergleichung erweist sich als eine viel geringere, als diejenige, welche bei Vergleichung von Lichtern derselben Farbe erreicht werden kann. Selbst schon bei den sehr geringen Unterschieden des Farbentons, wie sie bei praktisch photometrischen Messungen von Flammen verschiedener Temperatur und von elektrischen Glühlampen verschiedener Stromdichtigkeit vorkommen ist die Störung sehr merklich. Sollen gar Lichter von sehr weit abweichendem Farbentone mit einander verglichen werden, so wächst die Unsicherheit und Verlegenheit der Beobachter in hohem Grade. Sehr erhebliche Unterschiede der Helligkeit zwischen ganz verschiedenen Farben werden allerdings ohne Zweifeln und Schwanken anerkannt. Namentlich kann es nicht zweifelhaft sein, daſs wenn die eine Farbe als die Summe aus der andern und einem andersfarbigen Summanden anzusehen ist, die Summe immer heller als jeder der Theile erscheint. Das zeigt sich, sobald man auf irgend einem farbig beleuchteten Felde einen Fleck noch mit andersfarbigem Licht beleuchtet.

Beobachter, die sich in dergleichen Beobachtungen viel geübt haben, kommen schlieſslich zu etwas gröſserer Sicherheit, die allerdings auch durch eine Art von festerer Gewöhnung, oder gröſsere Aufmerksamkeit auf ver-

hiedene unterstützende Nebenwirkungen gewonnen werden könnte. Auf-
llend ist die gröfsere Sicherheit, welche hierbei dichromatische Beob-
hter zeigen, bei denen ja übrigens auch die Aufgabe eine viel einfachere ist;
enigstens hat sich Herr E. Brodhun in dieser Beziehung seinen Mit-
eobachtern durchaus überlegen gezeigt, selbst in der Vergleichung solcher
arben, die auch seinem grünblinden Auge ungleich erscheinen.

Ich selbst mufs gestehen, dafs ich über eine grofse Unsicherheit in
iesen Vergleichungen nie hinausgekommen bin, obgleich ich in der Ver-
eichung sehr kleiner Farbenunterschiede bei gleicher Helligkeit, und sehr
leiner Helligkeitsunterschiede bei gleicher Farbe andern Beobachtern nicht
achzustehen glaube.

Zunächst ist nun hier eine Thatsache zu erwähnen, die auch ungeübten
eobachtern leicht wahrnehmbar wird, und die jetzt unter dem Namen des
rkinjeschen Phänomens bezeichnet zu werden pflegt, da sie von diesem
utor zuerst erwähnt worden ist, und welche zeigt, dafs bei verschie-
enen Farben die Empfindung der Helligkeit eine verschiedene Function der
osoluten Lichtstärke ist. Wählt man zwei verschiedene farbige Felder, die
ei starker Lichtintensität gleich hell erscheinen, und reducirt man die Licht-
ärke beider in gleichem Verhältnifs, z. B. auf ein Zehntheil, so wird man
nden, dafs bei dieser geringeren Lichtstärke die blauen Farben entschieden
eller erscheinen als die rothen oder grünen. Purkinje[1] bemerkt dem-
ntsprechend, dafs Blau bei schwächstem Licht erkannt wird, Roth erst bei
ärkerem. Sodann hat Dove[2] darauf aufmerksam gemacht, dafs wenn man
ie scheinbare Helligkeit von Flächen, die mit verschiedenen Farben über-
gen sind, bei verschiedener Intensität derselben Beleuchtung vergleicht,
ald die eine, bald die andere heller aussieht. Im allgemeinen überwiegen
ei grofser Beleuchtungsstärke die weniger brechbaren rothen und gelben
arben, bei geringerer die blauen und violetten. Wenn ein rothes und ein
laues Papier bei Tageslicht gleich hell aussehen, so erscheint bei Einbruch
er Nacht das blaue heller, das rothe oft ganz schwarz. Ebenso findet man,
afs in Gemäldesammlungen bei sinkendem Abend (einen trüben Himmel und
hlende Abenddämmerung vorausgesetzt) die rothen Farben zuerst schwinden,
ie blauen am längsten bleiben. Auch in der dunkelsten Nacht, wenn alle
nderen Farben fehlen, sieht man noch das Blau des Himmels.

Noch auffallender habe ich diese Erscheinungen gefunden, wenn man
rismatische Farben vergleicht. Wenn man den in *Fig. 145* S. 352 abgebil-
eten Apparat zur Mischung von Spectralfarben benutzt, und vor das Feld,
elches mit den beiden Farben beleuchtet ist, ein senkrechtes Stäbchen
ält, so wirft dies zwei verschiedenfarbige Schatten, da die beiden beleuch-
nden verschiedenfarbigen Strahlenbündel von etwas verschiedenen Rich-
ingen, nämlich von den beiden Spalten des letzten Schirmes (S' in *Fig. 145*)

---

[1] Purkinje, *Zur Physiologie der Sinne*. Bd. II. S. 109. 1825.

[2] Dove, Über den Einflufs einer weifsen Beleuchtung auf die relative Intensität verschiedener
rben. *Berl. Monatsber.* 1852. S. 69—78. — *Pogg. Ann.* LXXXV. 397—408.

herkommen. Wäre also z. B. Violett und Gelb gemischt, so würde der violette Spalt einen Schatten werfen, der nicht mehr von Violett, wohl aber von Gelb beleuchtet ist, also gelb erscheint. Der andre Spalt würde einen violetten Schatten werfen. Macht man nun den Spalt, der das Violett durchläfst breiter, so wird das Violett, also auch der violette Schatten lichtstärker, und man kann durch passende Regulirung der beiden Spalten leicht erreichen, dafs der violette Schatten dem Auge etwa ebenso hell erscheint, wie der gelbe. Wenn man nun den einfachen Spalt des ersten Schirmes, durch welchen das vom Heliostaten reflectirte Licht zum Prisma tritt, erweitert oder verengt, so verstärkt oder schwächt man die ganze Lichtmasse, die in den Apparat tritt, und zwar alle ihre farbigen Lichter in gleichem Verhältnisse. Dabei zeigt sich, dafs schon bei einer geringen Verstärkung des gesammten Lichts das Gelb heller, bei einer geringen Schwächung dagegen dunkler als Violett erscheint. Dieser Unterschied ist viel geringer, wenn man zwei Farben aus der weniger brechbaren Hälfte des Spectrum nimmt, gröfser wenn beide aus der brechbarerem Hälfte sind, am gröfsten, wenn man sie von den Enden des Spectrum nimmt.

Genauer ist diese Erscheinung an Spectralfarben für seine grünblinden Augen dann von Herrn E. Brodhun[1] verfolgt worden, der die unmittelbaren Vergleichungen der Helligkeit, wie schon erwähnt, mit verhältnifsmäfsig grofser Sicherheit ausführt und in dieser Richtung sehr geübt ist. Da die verglichenen Felder in meinem Farbenmischapparate nicht sehr grofs sind, war bei 25maliger Wiederholung gleichartiger Messungen der mittlere Fehler der einzelnen Beobachtung für die Vergleichung von

roth mit roth 3,0 %
blau mit blau 3,3 %
blau mit roth 5,8 %,

wodurch die relative Sicherheit der Beobachtungen charakterisirt ist. Bei den Versuchen wurde mein Farbenmischapparat (*Fig. 147* S. 355) benutzt, wobei aber in beiden Feldern neben einander einfache Spectralfarben erschienen. Durch Änderung der Breite des einen Spalts wurde gleiche Helligkeit auf beiden Seiten erzeugt, und die Breite beider Spalten abgelesen, der Versuch 10mal wiederholt. Dann wurde der bisher unveränderte Spalt ebenfalls verändert, und das ganze Verfahren bei diesem veränderten Grade der Helligkeit wiederholt. Auch wurden absorbirende Gläser zu Hülfe genommen, um zu kleine Spaltbreiten zu vermeiden. Ebenso mufsten zu grofse vermieden werden, um nicht verschiedenartige oder verschieden helle Theile des Spectrum zusammen zu mischen. Man erhielt auf diese Weise für verschiedene Farbenpaare Zahlen für die Spaltbreiten, welche gleichen Helligkeiten beider Farben entsprachen.

Dabei hat sich nun herausgestellt, dafs wenn man oberhalb einer gewissen Helligkeit bleibt, die Spaltbreiten gleicher Helligkeit für alle Farbenpaare einander nahe proportional wachsen, dafs bei Verminderung der Helligkeit aber schliefslich die Spalten für die blauen Farben verhältnifsmäfsig stärker verengt werden müssen, als die für die weniger brechbaren Farben, um die gleiche Helligkeit zu erhalten.

---

[1] Eugen Brodhun, *Beiträge zur Farbenlehre.* Inaug. Diss. Berlin 1887.

Wenn die Vergleichung mit rothem Licht von 670 $\mu\mu$ Wellenlänge geschah, igte sich bei 600 $\mu\mu$ (orange) noch keine Abweichung von der Proportionalität. i 570 $\mu\mu$ (gelb) eine verhältnifsmäfsig geringe, dagegen von 540 $\mu\mu$ (grün) ab : 450 $\mu\mu$ dieselbe in steigendem Mafse, so dafs eine Abweichung von 15 % ırkam bei den Spaltbreiten b des Lichts von 670 $\mu\mu$

gegen Licht, dessen λ =	570	540	510	490	470	450
b =	20	30	36	20	75	68

ei den kleineren Helligkeiten des violetten Lichts (Spaltbreite für 670 $\mu\mu$ = 10) igt aber die Abweichung bis auf 126 %

Die durch Spaltbreite 16 ausgedrückte Helligkeit ist gleich der, welche man hält, wenn eine normalweifse Fläche in einem halben Meter Entfernung durch ne SIEMENSsche Platinglühlampe (d. h. eine schmelzende blanke Platinfläche von $/_2)^2 \pi$ 9 qmm. Oberfläche beleuchtet und eine rechteckige Öffnung von 1,98 mm. öhe und 0,77 mm. Breite betrachtet wird.

Herr A. KÖNIG glaubte anfangs für sein trichromatisches Auge dasselbe esultat zu finden, dafs nämlich bei hinreichend hohen Graden der Helligkeit gleich lle Farben bei Verdoppelung ihrer Lichtstärke gleich hell blieben. Bei neuerer ıf höhere Helligkeiten ausgedehnten Versuchen[1] zeigten sich aber die dem PURINJEschen Phänomen entsprechenden Abweichungen bis zu den höchsten Helligeiten hinauf wenn auch an Gröfse stark abnehmend. Dagegen fand sich bei einem othblinden (Herrn Dr. RITTER.) eine obere Grenze, wie bei dem grünblinden Herrn RODHUN.

Die Versuche der Herren MACÉ DE LÉPINAY[2] und NICATI haben ebenfalls ein Verschwinden von PURKINJEs Phänomen an der oberen Grenze der Lichtärke angezeigt; die Frage ist bei ihnen aber nicht sicher entschieden, da sie ne Berechnungsweise angewandt haben, welche direkte Anwendbarkeit von FECHNERs esetz für alle Lichtstärken und Farben voraussetzt.

Übrigens zeigen die erwähnten neueren Beobachtungsreihen von A. KÖNIG die urven der relativen Helligkeitswerthe der Spektralfarben, welche regelmäfsig mit er Helligkeit des Grün der Wellenlänge 535 (Grün) verglichen wurden, den durch URKINJEs Phänomen bedingten sehr verschiedenen Gang. Bei schwächstem Licht ıg das Maximum durchgehend bei $\lambda = 535$, bei starkem Licht ging es vor bis 15 im Orange. Übrigens zeigten selbst einige normale Trichromaten erhebliche bweichungen im Gange der Curve, während A. KÖNIG, eine trichromatische Dame nd der grünblinde Herr E. BRODHUN ziemlich übereinstimmende Curven gaben. er rothblinde Herr RITTER zeigte eine viel geringere Helligkeit im Roth. — Bei iedrigsten Helligkeiten stimmten die Curven der verschiedenen Beobachter unter inander und auch mit einigen der beobachteten Monochromaten ziemlich gut berein.

Die Beobachtungen der beiden Dichromaten, denen sich die von Herrn A. KÖNIG nnerhalb der zuerst gebrauchten begrenzteren Skala der Lichtstärken anschlossen, chienen es möglich zu machen für alle Farben Lichteinheiten solcher Art zu finden, velche in gleicher und genügend hoher Anzahl genommen gleiche Helligkeiten dartellen. Nun zeigt sich allerdings jetzt, dafs eine ganz scharfe Bestimmung solcher

[1] A. KÖNIG, Über den Helligkeitswerth der Spectralfarben bei verschiedener absoluter Intensität n „Beiträge zur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane." *Festschrift für H. v. Helmholtz.* Leoold VOSS. Hamburg. 1891. S. 309. Auch separat erschienen.

[2] J. MACÉ DE LÉPINAY et W. NICATI, *Ann. d. Chimie et de Phys.* 5. Série. t. 24. p. 289. 1881 und t. 30 15. 1883.

Lichteinheiten wenigstens für trichromatische Augen nicht möglich ist, selbst innerhalb der geringen Genauigkeitsgrade, welche die heterochrome Photometrie überhaupt zuläfst. Da aber mehrere Reihen von Messungen nach solchen Einheiten ausgeführt worden sind, ist es wünschenswerth sie zu benennen. Ich habe dafür einstweilen den Namen der äquilucenten Lichteinheiten oder Einheiten gleicher Helligkeiten vorgeschlagen.

Die schon angeführten Untersuchungen von A. König und E. Brodhun über die Unterschiedsschwellen der Spectralfarben sind nach solchen äquilucenten Einheiten berechnet, während bei den Untersuchungen von A. König und C. Dieterici über die Vertheilung der Grundempfindungen im Spektrum nach ganz andern Einheiten gerechnet ist. Lichtquanta der gewählten Elementarfarben sind nämlich als gleich gesetzt worden, wenn sie zusammen Weifs gaben. Das sind also Quanta von gleicher färbender Kraft. Wir wollen die hiernach bestimmten Einheiten als colorimetrische oder Farbeneinheiten bezeichnen. Für Mischfarben würde dies colorimetrische Lichtquantum der Summe der entsprechenden Quanta der gewählten drei Grundfarben entsprechen.

Dafs diese beiden Arten von Lichteinheiten zu einander ein sehr verschiedenes Verhältnifs haben, ergab sich schon aus meinen ersten Mischungsversuchen mit Spectralfarben (S. 319 und 331), die ich unter Anwendung des Doppelspaltes angestellt hatte,[2] die damals gefundenen Verhältnisse der Helligkeiten waren:

	Bei starkem Licht:	Bei schwachem Licht:
Violett zu Grüngelb	1 : 10	1 : 5
Indigo zu Gelb	1 : 4	1 : 3
Cyanblau zu Orange	1 : 1	1 : 1
Grünblau zu Roth	1 : 0,44	

Neuere Bestimmungen dieser Verhältnisse ergeben sich aus den Beobachtungen, welche A. König und E. Brodhun über die scheinbare Helligkeit der verschiedenen Theile des Spektrum gemacht haben, da beide für ihre Augen auch die Farbengleichungen der Spektralfarben bestimmt hatten. Für das dichromatische Auge von Brodhun stimmen die gefundenen Helligkeiten erträglich gut mit einer linearen Formel; dies gilt natürlich nur für so hohe Helligkeiten, die der Anzahl ihrer äquilucenten Lichteinheiten entsprechen. Waren K und W die Quanta der kalten und warmen Farbe (spektrales Violett und Roth) deren Mischung gleichaussehend der Spektralfarbe war, so konnte ihre Helligkeit J gesetzt werden

$$J = 1{,}018 \, . \, W + 0{,}03915 \, . \, K$$

woraus folgt, dafs die Helligkeiten complementarer Mengen der beiden Farben sich wie 26 : 1 verhalten.

Die Abweichungen zwischen Beobachtung und Rechnung waren hierbei wenigstens nicht viel gröfser, nämlich bis 6 % reichend, als die mittleren Fehler der Helligkeitsvergleichungen sehr differenter Farben überhaupt. Übrigens beziehen sich die

[2] *H. Helmholtz, Pogg. Ann.* Bd. 94. S. 19.

obachtungszahlen auf das Spectrum des Gaslichts, welches nicht als unveränderlich gesehen werden kann.

Die entsprechenden Beobachtungen für das trichromatische Auge von A. KÖNIG eben für die Helligkeit gleicher Farbenwerthe von Violett und Roth das Vertnifs 1 : 13,7, während die Helligkeit des von ihm supponirten elementaren ün so gering erschien, dafs bei der verhältnifsmäfsig gröfseren Ungenauigkeit der schungs- wie der Helligkeitsverhältnisse im trichromatischem Auge eine Bestimmung ht gewonnen werden konnte. Im Roth und Gelbgrün des Spectrum von der llenlänge 670 $\mu\mu$ bis 545 $\mu\mu$, wo der Einflufs des Violett beginnt, war die ligkeit, so weit erkennbar, sogar nicht erheblich von der Proportionalität mit der Roth allein abweichend. Zu bemerken ist dabei, dafs dieses supponirte elentare Grün, wie *Fig. 139* S. 340 zeigt, weit jenseits der Curve der Spectralfarben gt, und dafs also diese letzteren nur kleine Bruchtheile desselben enthalten, die, n sie nicht erheblich heller sind als gleiche Farbenquanta des Violett, sich er den Unregelmäfsigkeiten der Beobachtungszahlen leicht verstecken konnten. Bei em Rothblinden (Dr. RITTER) fiel die Helligkeitscurve des Spectrum ziemlich genau der Grüncurve zusammen.

Um übrigens das von Herrn BRODHUN seiner Rechnung zu Grunde gelegte etz für die Helligkeit gemischter Farben auch an andern Farben von grofsem terschied des Farbentons zu prüfen, ersuchte ich Herrn E. BRODHUN, der durch dichromatisches Farbensystem in dieser Hinsicht begünstigt ist, directe Helligsvergleichungen am Farbenkreisel zu machen. Er verglich zunächst die Hellig von zwei rothen und zwei blauen Papieren mit Grau, welches auf dem Farbenisel aus einem hellen Grau und Schwarz gemischt wurde. Dann stellte er bengleichungen her zwischen einem Roth und einem Blau einerseits, Grau und warz andrerseits, und verglich den durch diesen Versuch gefundenen Werth des u mit dem aus den ersten Bestimmungen berechneten. Es fand sich:

1) Helles Roth $R_h = \frac{160}{360}$ Grau,

2) dunkles Roth $R_d = \frac{110}{360}$ „

3) helles Blau $B_h = \frac{60}{360}$ Grau,

4) dunkles Blau $B_d = \frac{25}{360}$ „

bengleichungen, beobachtet:

I.	121 Gr. = 127 B_h + 233 R_h,	berechnet	= 125 Gr.
II.	118 Gr. = 95 B_d + 265 R_h,	„	= 125 Gr.
III.	98 Gr. = 94 B_h + 266 R_d,	„	= 97 Gr.
IV.	97 Gr. = 70 B_d + 290 R_d,	„	= 94 Gr.

Übereinstimmung mit dem linearen Gesetz ist hierbei eine verhältnifsmäfsig gute.

Vergleichung der Helligkeit sehr wenig unterschiedener Farben.

Bei dieser grofsen Unsicherheit der directen Vergleichung der Helligkeiten sehr verschiedenartiger Farben, von der ich namentlich mich selbst persönlich nicht frei machen kann, habe ich versucht einen andren Weg einzuschlagen, der auf der Vergleichung sehr ähnlicher Farben beruht. Diese ist, wie schon die langjährige Erfahrung bei photometrischen Messungen lehrt, verhältnifsmäfsig viel sicherer und leichter auszuüben, und ich durfte hoffen durch Verfolgung eines continuirlichen Übergangs zwischen verschiedenen Farben, die alle auf gleiche Helligkeit gebracht wurden, bessere Helligkeitsgleichungen zwischen den Endfarben zu gewinnen.

Ich ging dabei aus von dem Grundphänomen, welches in der Photometrie benutzt wird, wenn es sich darum handelt zwei etwas verschieden gefärbte Lichter ihrer Helligkeit nach zu vergleichen. Wenn man die Lichtstärke des einen von ihnen allmälig verändert, so werden sie selbstverständlich niemals ganz gleich, aber man gelangt doch zu einer Einstellung, bei welcher der genannte Unterschied ein Minimum der Deutlichkeit erreicht. Man pflegt das Verhältnifs der Lichtstärken, welches dieser Einstellung entspricht, photometrisch als das Verhältnifs gleicher Helligkeit zu betrachten.

Ich habe es mir nun zunächst zur Aufgabe gestellt, diese Einstellung auf das Minimum der Erkennbarkeit des Unterschiedes bei einer Reihe von Mischfarben, die aus denselben Farbenelementen durch Mischung auf der Farbenscheibe erhalten wurden, durchzuführen. Die eine Mischfarbe, und zwar die etwas dunklere, blieb dabei unverändert, die andre erlitt kleine Veränderungen in ihrer Helligkeit und Mischung, indem man sehr schmale schwarze Sectoren sich einschieben liefs, um sie ein wenig dunkler zu machen, bis man die Grenzen der Ringe, in denen sich diese Farben zeigten, möglichst schwer erkennbar gemacht hatte, wobei sie dann auch gleich hell erschienen. Die dazu erforderlichen Verhältnisse wurden notirt.

Die Farbenmischungen füllten abwechselnd fünf concentrische Ringe auf der Scheibe. Die Kreisscheiben waren aus farbigen Papieren von möglichst gesättigter Farbe, aber nicht glänzender Oberfläche geschnitten; sie waren längs eines Radius gespalten nach der Methode von MAXWELL, um die Winkel beliebig ändern zu können. In umstehender Figur 174 sind die hervorstehender Ränder der gespaltenen Scheiben abgebildet, wie sie auf deren vorderer Fläche sichtbar waren. Am oberen Umfange der Figur ist jeder vorliegenden Scheibe ein etwas kleinerer Radius gegeben, um sichtbar zu machen, wie sie zwischen einanderliegen. In Wirklichkeit waren die Scheiben hier durch congruente Kreislinien von gleichem Radius begrenzt.

Die Scheibe von etwas hellerer Farbe *R* und die schwarze haben einen einfachen radialen Einschnitt, erstre bei *bb*, letztre bei *dd*. Dagegen hat die Scheibe von dunklerer Farbe *B* eine mit zinnenförmigen Vorsprüngen versehene Grenzlinie zwischen *aa* und *cc*. Ersteres ist ein Radius, letzteres aber ist eine Parallele zu diesem Radius, so dafs die Winkelwerthe der Bögen zwischen *aa* und *cc* für die inneren Kreise gröfser werden, als für die äufseren. Die schwarze Scheibe wurde ebenfalls so eingelegt, dafs ihre Grenzlinie *dd* nicht genau die Lage eines Radius hatte, sondern parallel dem dicht daneben liegenden Radius *aa* lag, und somit der

warze Streifen, der im Grunde der zinnenartigen Ausschnitte hervorsah, überall selbe Breite hatte, und überall die Höhe der Zinnen um den gleichen Bruchil verkleinerte. Die Lage des Radius *b* konnte beliebig um fast den ganzen ıfang verschoben werden, mit Ausschlufs des von den Zinnen eingenommenen eifens, so dafs man jede der beiden Farben *R* und *B* fast rein erscheinen lassen inte, oder nach Wahl alle möglichen Abstufungen ihrer Mischung. Zu der durch beiden zwischen den Radien *bb* und *aa* liegenden Sectoren bestimmten Farbenchung kam dann in den bis *cc* reichenden Vorsprüngen des Feldes *B* ein kleiner

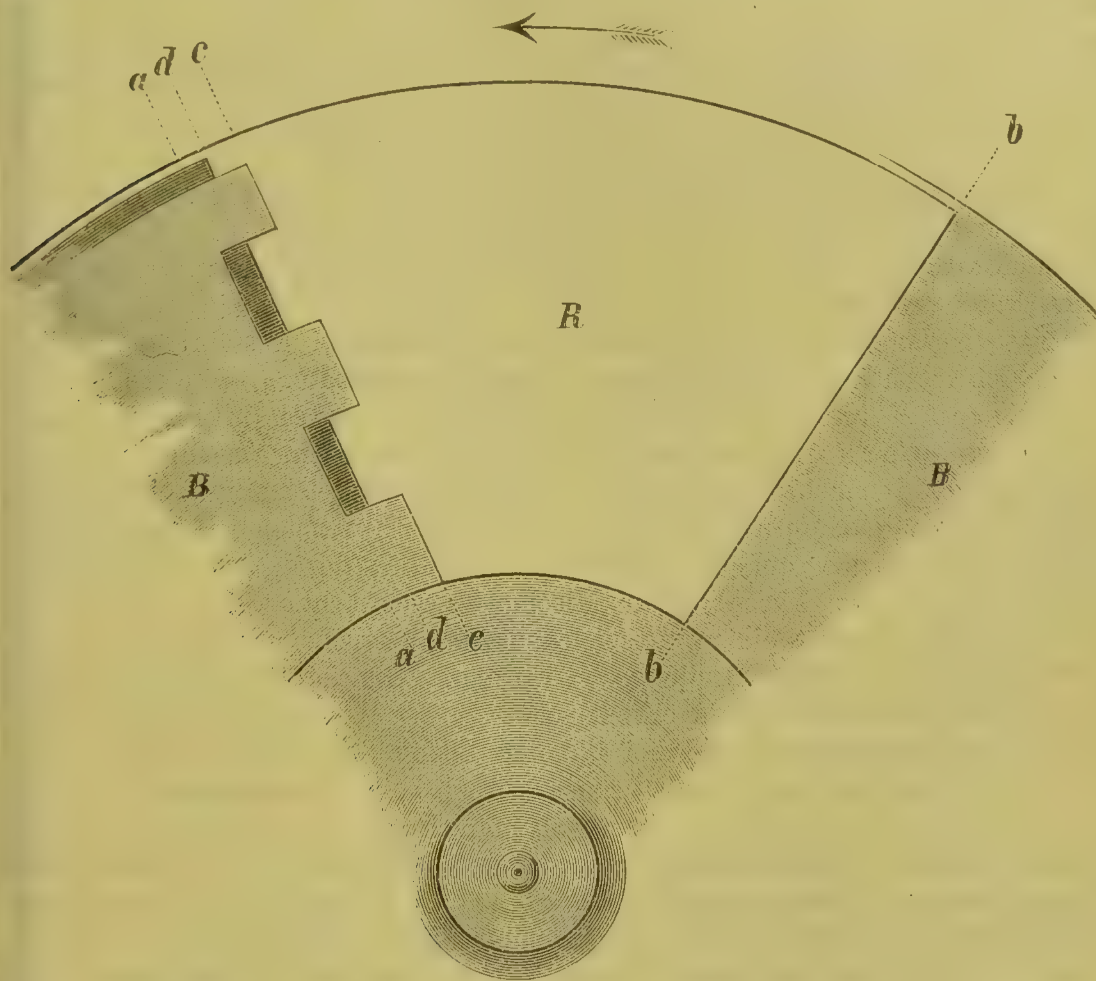


Fig. 174.

en von dieser Farbe hinzu, dafür wurde ein gleicher Bogen von *R* weggenommen. den Ausschnitten der Zinnen dagegen wurde nur ein schmaler Streifen *aa dd* von Farbe *R* durch Schwarz weggenommen. Wenn die Farbe *B* etwas dunkler , war da, wo sie zwischen *aa* und *cc* statt *R* auftrat, etwas Helligkeit ver-n; um diesen Verlust für die andre Mischung zu compensiren, mufste auch hier as von der Farbe *R* durch Schwarz fortgenommen werden. Die Breite dieses warzen Streifens konnte verändert werden. Die Grenzen zwischen den äufseren gen, wo die Winkelwerthe der Zinnen am kleinsten sind, sind natürlich am untlichsten. Ich fand es vortheilhaft, gleichzeitig mehrere Grenzen von verschieen kleinen Abstufungen der Deutlichkeit vor Augen zu haben, um bei den Ver-

gleichungen diejenige herauszusuchen, die eben der Grenze des Wahrnehmbaren am nächsten stand.

Wenn ein festes Verhältnifs der Helligkeit zwischen den beiden Farben *B* und *R* auch unter diesen Umständen bestände, so müfste sich auch ein festes Verhältni zwischen den beiden kleinen Bögen *ac* und *ad* finden lassen, welches in den Ringe von verschiedenem Farbenton immer wieder gleiche Helligkeit herstellte, unabhäng von dem Verhältnifs der beiden grofsen Sectoren *R* und *B*.

Nähme man also z. B. an, dafs Lichter gleicher Helligkeit, aber verschieden Farbentons durch Mischung von zwei Grundfarben nach der Formel

$$H = A \cdot x + B \cdot y$$

gegeben werden könnten, wo *A*, *B* Constanten sind, *H* eine Function der Helli keit *h*, und *x*, *y* Quanta zweier beliebig gewählter Elementarfarben: so würde fi eine benachbarte Farbe in der Reihe gleich heller Mischungen

$$o = A \cdot dx + B \cdot dy$$

sein müssen, und das Verhältnifs von $dx : dy$ würde, unabhängig von den Werthen und *y*, wie der Helligkeit *h* immer dasselbe sein; dasselbe würde von dem Ve hältnifs der Breite der beiden schmalen Farbenstreifen auf und zwischen den Zinn unsrer Scheibe gelten.

Diese Vermuthung bestätigt sich nun aber nicht bei Ausführung des Versuch Es zeigt sich vielmehr, dafs der zum Theil mit Schwarz gedeckte Vorsprun der helleren Farbe um so breiter gemacht werden mufs, je mehr vo seiner Farbe schon der Farbe des Grundes eingemischt ist. Es wi also bei der von mir beschriebenen Methode der Vergleichung zweier Helligkeit — wir wollen sie die photometrische Methode nennen — die Wirkung d Zusatzes einer Farbe auf die Helligkeit wesentlich durch den schon vorhanden Vorrath dieser selben Farbe in der Mischung geschwächt.

Ich führe zunächst einige Beispiele solcher Versuche an:

1. **Grün** und **Roth**, Breite $ac = 4{,}5$ mm. Gleiche Helligkeit und das Min mum des Unterschieds erhielt ich
   a) für rothen Grund bei 2,5 mm Breite des Grün;
   b) für halb roth, halb grünen Grund bei 2,75 mm Grün;
   c) für grünen Grund bei 3,75 mm Grün.

Der Kreis von 50 mm Radius war eben noch wahrnehmbar, etwas deutlich bei halb grünem, halb rothem Grunde.

2. **Blau** und **Roth**, Breite $ac = 4$ mm. Gleich helle Ringe
   a) auf blauem Grunde für 1,25 mm Roth gegen 4 mm Blau;
   b) auf halb rothem, halb blauem Grunde 1,75 mm Roth;
   c) auf rothem Grunde 3 mm Roth.

Bei *a* und *b* war der Kreis von 60 mm Radius schwach zu erkennen, bei nur der von 50 mm.

3. **Blau** und **Grün**, Breite der Ausschnitte 5,5 mm. Gleich helle Ringe
   a) auf blauem Grunde, bei 1,5 mm Grün gegen 5,5 mm Blau;
   b) auf halb blauem, halb grünem Grunde 1,75 mm Grün;
   c) auf grünem Grunde 2,25 mm Grün.

Sichtbar war der Kreis von 50 mm Radius, aber sehr schwach, am schwächsten bei

Es zeigt sich ohne Ausnahme, dafs der Streifen von veränderlicher Breite a gleichfarbigem Grund breiter genommen werden mufs als auf gemischtem Grun und auf diesem breiter als auf dem Grunde der ungemischten andern Farbe.

Die Reihe der Helligkeiten der drei gewählten Farben ist offenbar:

Grün > Roth > Blau.

Bei den stärkeren Helligkeitsdifferenzen mit Blau sind die Ringe auf dem elleren Grunde weniger sichtbar; bei der schwächeren Differenz Roth Grün sind ie Ringe auf den reineren Farben weniger sichtbar, als auf dem Gemisch.

Da aber die gebrauchten Pigmentfarben überhaupt gemischtes Licht aus fast llen Gegenden des Spectrums geben, ist es nicht auffallend, daſs sie sich theilweise nmer gegenseitig schwächen, und daſs die zackige Figur jeder Farbe auf dem rbigen Felde der andern Farbe nicht ganz so deutliche Ringe giebt, wie sie auf hwarzem Grunde geben würde. Aber sehr groſs ist der Unterschied in der Emfindlichkeit nicht. Bei halb hell, halb schwarz getheiltem Grunde würden helle treifen die Breite von etwa 2 mm für den Radius 60 mm haben müssen, um cher erkannt zu werden. Daſs die erforderlichen Farbenstreifen bei unsren Verchen 2 bis 3 mal so breit waren, giebt also noch keineswegs einen sicheren eweis dafür, daſs die Empfindlichkeit gegen Farbenabstufungen erheblich geringer t, als die für Helligkeitsstufen.

Es folgt nun aus diesen Versuchen, daſs, wenn wir auf diesem Wege von ner sehr gesättigten Farbe ausgehend eine Reihe gleich heller gemischter Farben chen, indem wir immer nur zwei sehr nahe Glieder der Reihe mit einander vereichen, das gesammte Quantum des gemischten Lichts in der Reihe solcher Farben cht unverändert bleiben kann. Wählen wir die Einheiten für die Lichtquanta r beiden Endfarben so, daſs sie in gleicher Helligkeit erscheinen, so werden wir n möglichst gesättigtem Roth anfangend, durch Wegnahme eines kleinen Quantum oth die Helligkeit viel weniger schwächen, als wir durch den Zusatz eines gleichen uantum Blau sie verstärken, da letzres noch auf kein merkliches Quantum schon rhandenen Blaus stöſst. Wir müſsten also weniger Blau zusetzen, als wir Roth egnehmen. Dadurch wird die Summe der Lichtquanta kleiner werden. Dies wird im Fortschritt zu Mischungen mit immer mehr Blau so weiter gehen müssen, bis dlich die beiden Farben nahe gleiche Quantität in der Mischung haben; dann rd man anfangen müssen, Blau in gröſserer Menge hinzuzusetzen, als man Roth egnimmt. Das Gesammtquantum wird wieder steigen, bis wir beim reinen Blau gekommen sind.

Wir haben es hier offenbar mit einem ähnlichen Einfluſs zu thun, wie er sich i Abstufungen der Intensität ohne gleichzeitige Anwesenheit einer andern Farbe f demselben Felde geltend macht. Gleiche kleine Zuwachse der Lichtmenge achen um so weniger Eindruck, je gröſser die schon auf dem Felde vorhandene chtmenge gleicher Art ist. In jenen Fällen messen wir den Eindruck ab an der utlichkeit der Wahrnehmung des Schattens, hier vergleichen wir zwei die Hellig- it steigernde Abstufungen zweier Farben auf demselben Grunde mit einander.

Diese Beobachtungen zeigen, daſs bei den verhältniſsmäſsig viel sichereren otometrischen Vergleichungen sehr ähnlicher Farben sich wesentlich abweichende sultate von der unmittelbaren Vergleichung sehr verschiedener Farben ergeben.

Ich bemerke noch, daſs ich die meisten Versuche mit den rotirenden Scheiben i Tageslicht wolkigen Himmels dicht am Fenster angestellt habe. Ich habe sie er an sonnigen Tagen auch unter directer Sonnenbeleuchtung mit demselben Erge wiederholt. Dies, sowie der Umstand, dass bei Roth und Grün der Erfolg rselbe war, wie bei den beiden anderen Paaren, schlieſst den Einfluſs des änomens von PURKINJE aus. Denn bei Grün und Roth war die dunklere Farbe

diesem Einfluſs weniger unterworfen, als die hellere, bei den anderen beiden Paaren dagegen mehr.

Es zeigt sich hierbei durchgehends, daſs die Steigerung der Helligkeit, welche durch Zusatz einer bestimmten Quantität farbigen Lichts hervorgebracht wird, geringer ist auf einer gleichfarbigen Fläche, als auf einer von sehr abweichender Farbe.

Versuche mit prismatischen Farben.

Um diese Thatsache in noch anderer Weise zu prüfen, habe ich noch einige Versuche mit prismatischen Farben ausgeführt, Versuche, die bei methodischer Durchführung wohl noch wichtige Ergebnisse erwarten lassen. Ich stellte nämlich ein Spektroskop mit Objectiv- und Ocularspalt so auf, daſs ich das Feld desselben gleichmäſsig mit lichtstarkem Violett des Sonnenlichts gefüllt sah. Um das durch Diffusion in den Gläsern zerstreute weisse Licht aus dem Felde gröſstentheils zu beseitigen, diente die Einschaltung eines blauen Glases zwischen Heliostatenspiegel und erstem Spalt. Die Helligkeit dieses Violett wurde so groſs gemacht, als es ohne merkliche Störung seiner Reinheit anging; doch blieb es bequem erträglich für das Auge und blendete nicht. Gleichzeitig wurde von der dem Beobachter zugekehrten Seite des Prisma rothes Licht reflectirt, welches in zwei getrennten Bündeln durch eine Glasplatte und ein LUMMERsches Photometer gegangen war. Das letztere Instrument wurde so eingestellt, daſs man den Helligkeitsunterschied der beiden Lichtfelder beim Ausschluſs des violetten Lichtes noch gerade erkennen konnte. Dann wurde das violette Licht zugelassen, so dass beide Arten von Licht gleichzeitig im Felde sichtbar waren. Der Erfolg war in der That der erwartete; die schwache Unterschiedsstufe des rothen Lichts war kaum weniger gut erkennbar, wenn sich das Feld mit Violett überdeckte als vorher. Wenn man dagegen das ganze Feld mit Licht aus dem rothen Theile des Spectrum überdeckte, war schon eine rothe Beleuchtung von merklich geringerer Helligkeit, als das Violett gehabt hatte, ausreichend, um die Sichtbarkeit der Figur aus dem Photometer gänzlich aufzuheben. Auch Gelb und Grün tilgten die Sichtbarkeit des Unterschiedes der rothen Felder bei ziemlich mäſsigen Helligkeiten. Eine genauere Vergleichung der entsprechenden Helligkeitsstufen der verschiedenen Farben konnte mit den zur Zeit vorhandenen Apparaten noch nicht durchgeführt werden.

Ich bemerke hierbei noch, daſs man vollkommene Unabhängigkeit der Wahrnehmbarkeit der schwachen Farbenstufen des Roth von der übergedeckten andern Farbe nicht erwarten darf, da mancherlei schon besprochene und noch weiter zu besprechende Erscheinungen zeigen, daſs auch die Endfarben des Spectrum nicht je einer unvermischten Grundfarbe entsprechen. Aber der sehr groſse Unterschied, den ähnliche und weit verschiedene Farben hierbei erkennen lassen, tritt bei den beschriebenen Versuchen doch sehr deutlich hervor.

Die hier besprochene verhältniſsmäſsige Unabhängigkeit der Deutlichkeit eines Farbenunterschieds von der Zumischung sehr heterogener Farben dehnt sich aber nicht auf hohe Lichtstärken aus, welche das Gefühl der Blendung hervorbringen. Daſs bei diesen die Empfindung für die Unterschiede der Lichtqualität stumpfer wird, habe ich schon im § 19, Seite 284, 285, hervorgehoben. Bei höchster erreichbarer Lichtstärke gehen alle prismatischen Farben in kaum noch unterschiedenes gelbliches oder bläuliches Weiſs über.

Da dabei die gröfsten Unterschiede des Farbentons nahehin vollständig ver-
hwinden, kann es nicht zweifelhaft sein, dafs auch die von weniger verschiedenen
rben bei viel mäfsigerer Helligkeit verschwinden, was beim Gelb und Grün in der That
hr leicht geschieht. Daher wird jede gleichmäfsige Überdeckung jedes Felder-
ares von geringem Farbenunterschiede, aber grofser Helligkeit mit andersfarbigem,
ich starkem Licht der Unterscheidung nachtheilig sein.

Aus den Untersuchungen der Herren A. KOENIG und BRODHUN über die
terschiedsschwellen geht für diese das Gleiche hervor. Wenn wir zwei ver-
hiedene Lichtstärken von Roth r und $(r + dr)$, und zwei solche b und $b + db$
n blauem Licht haben, und alle an der oberen Grenze des Gebiets liegen, wo
CHNER's Gesetz gilt, und $dr : r = db : b$ ist, so dafs die Unterschiede dr und db
ich deutlich empfunden werden, so wird eine paarweise Vereinigung dieser Be-
ichtungen $(r + b)$ und $(r + b + dr + db)$ zwei Helligkeiten geben, deren
terschied nach den genannten beiden Beobachtern, welches auch die beiden
rbenpaare sein mögen, undeutlicher ist, als der von r und $(r + dr)$, so wie der
iehe von $(b + db)$. Also hat Zusatz der Farbe r und $(r + dr)$ der Wahr-
hmung ihres Unterschiedes geschadet, trotzdem wir hier zu dem lichtstärkeren
au auch lichtstärkeres Roth gesetzt haben.

Dafs die neu hinzukommende Farbe, je nach ihrer Lichtstärke, bald einen
r geringen, bald einen sehr deutlich erkennbaren Einflufs auf die Unterscheid-
rkeit schon bestehender kleiner Abstufungen einer anderen Farbe hat, kann einen
sonderen physiologischen Grund haben. Wir wissen aus den Untersuchungen über
Erregungen des Nervensystems im Allgemeinen und aus denen über die licht-
pfindlichen Substanzen des Auges insbesondere, dafs dieselben durch Erregung
rändert und unter dem Einflufs des arteriellen Bluts wieder in ihre normale
schaffenheit und Leistungsfähigkeit zurückgeführt werden. Wir dürfen daraus
liefsen, dafs Licht bestimmter Art, welches nur eine einzige der lichtempfindlichen
bstanzen zersetzt, auch nur deren eigene Leistungsfähigkeit beeinträchtigt, und
der nicht erregten benachbarten Nervenapparate ungestört läfst, so lange da-
rch keine wesentliche Verminderung des der betreffenden Netz-
utstelle zur Verfügung stehenden arteriellen Sauerstoffs eintritt.
bald letzteres aber geschieht, wird auch die Thätigkeit benachbarter Nerven-
mente gestört werden können, die aus denselben Capillaren ihren Sauerstoff be-
hen. Dies würde dem entsprechen, was wir im Auge wahrnehmen. Bei mäfsigem
ht finden wir, dafs die Feinheit der Empfindung einer Grundfarbe nur unwesent-
, unter reinen Bedingungen vielleicht gar nicht, gestört wird durch gleichzeitige
ftige Erregung einer andern Grundfarbe in derselben Netzhautstelle. Bei starkem
ht, welches den zugeführten Sauerstoffvorrath schneller verzehrt, tritt eine solche
rung durch die zweite Grundfarbe dagegen deutlich ein.

Der Begriff der Helligkeit. Ich suche hier zunächst zusammen-
stellen, was man über die verschiedenen Fälle der Vergleichung der Hellig-
it zweier belichteter Felder Gemeinsames aussagen kann.

1) Die Helligkeit ist eine Gröfse, von der ein gewisser Grad jedem
hteindruck des Auges beizulegen ist. Die Helligkeit hat den wesentlichen
arakter einer Gröfse, dadurch dafs man der Regel nach (Ausnahmen vor-
halten, wo man sich der Gleichheit nähert) bestimmt erklären kann: „Die
lligkeit des Feldes A ist gröfser, als die des Feldes B", und es scheint

auch eine ausnahmlos richtige Regel zu sein, dafs wenn zu einer gegebenen farbigen Beleuchtung eine zweite anders farbige desselben Feldes hinzukommt die Summe beider eine gröfsere Helligkeit hat, als jede einzelne.

Dagegen ist zu bemerken, dafs die Anerkennung der Gleichheit zweier Helligkeiten verschiedenfarbigen Lichtes auffallend unsicher ist, ja dafs die letzten Arbeiten von Herrn A. König es zweifelhaft machen, ob nicht weit gehende Differenzen in der Helligkeitsschätzung selbst zwischen normalen trichromatischen Augen vorkommen, wenn auch einzelne Gruppen von Beobachtern sich finden, deren Aussagen ziemlich gut mit einander übereinstimmen.

Die eigentlich charakteristische Definition der Gleichheit zweier Gröfsen dafs nämlich zwei, die einer dritten gleich sind, unter sich gleich sind, werden wir auf Helligkeiten höchstens in der Form anwenden können: „Wenn $A > B$, und $B > C$, so ist $A > C$“.

Ich persönlich mufs wiederholt erklären, dafs ich mir ein Urtheil über Gleichheit von heterochromen Helligkeiten kaum zutraue, höchstens über Gröfser und Kleiner in extremen Fällen. Aber ich gebe zu, dafs man von zwei verschiedenfarbigen Feldern das eine immer so viel verdunkeln kann dafs kein Zweifel bleibt: nun sei das andere heller.

Sicher fühle ich mich in der Beurtheilung des Unterschiedes fast nur in dem Falle, wo die eine Beleuchtung die Summe ist von der andern und einer hinzugekommenen dritten. Ist die Menge dieser dritten klein gegen die erste, so giebt sie zwar nur einen kleinen Helligkeitsunterschied, aber auch nur einen kleinen Farbenunterschied.

Für mich selbst habe ich durchaus den sinnlichen Eindruck, dafs es sich bei heterochromen Helligkeitsvergleichungen nicht um Vergleichung einer Gröfse, sondern um das Zusammenwirken von zweien, Helligkeit und Farbengluth, handelt, für die ich keine einfache Summe zu bilden weifs, und die ich auch wissenschaftlich noch nicht definiren kann.

Ich sehe mich also bei diesem Gegenstande vielfach darauf beschränkt zu referiren, was vertrauenswürdige Beobachter berichten.

2) Eine erheblichere Sicherheit der Vergleichung zweier Helligkeiten ist nur bei einander sehr ähnlichen Farben möglich, aber auch bei solchen nie so grofs, wie bei ganz gleichen. Ob aber bei diesen Vergleichungen ähnlichster Farben nicht Ermüdungserscheinungen des Auges Einflufs gewinnen die wir bei den Nachbildern besprechen werden, bleibt fraglich.

3) Wenn die Farbenwerthe zweier Lichtgemische einander vollkommen gleich sind, haben sie genau dasselbe Aussehen und auch genau dieselbe Helligkeit. Man kann daraus schliefsen, dafs die Helligkeit eine Function der drei Farbenwerthe eines Lichtgemisches sei und dafs Grassmann's Satz: Gleich aussehende Lichter gemischt geben gleich aussehende Mischungen“. auch noch dahin erweitert werden kann: „Gleich aussehende Paare von Lichtern gemischt geben gleiche Helligkeit der Mischung.“

Aber die Helligkeiten sind nicht mehr lineare Functionen der Farben-

…rthe: dem widerspricht Purkinje's Phänomen. Auch dürfen wir nicht …n Satz aufstellen: „Gleich helle Lichter addirt, geben gleich helle Mischungen“. …nn gleich helles Roth und Blau verdoppelt, geben das Roth heller als …s Blau.

Nur an der unteren Grenze der Lichtstärken, wo die Verschiedenheit …r Farben verschwindet, ist anzunehmen, dafs die Helligkeit oder eine …nction derselben einen linearen Ausdruck durch die Farbenwerthe zulasse.

Da die Helligkeit keine lineare Function der Farbenwerthe sein kann, …gt, dafs sie eine Empfindung sei, die auf einer verwickelteren Art des …sammenwirkens der drei elementaren Farbeneindrücke beruht.

Dafs ein solches Zusammenwirken der in das Auge einfallenden Licht…ngen stattfindet, zeigen ganz zweifellos die motorischen Erscheinungen …n Auge, die von der Helligkeit abhängen. Die auffallendste und regel…äfsigste derselben ist die Wirkung auf die Pupille, wobei ein Zusammen…rken sämmtlicher Lichtmengen, die in beide Augen eingefallen sind, zu …nde kommt, am stärksten aber verhältnifsmäfsig diejenigen wirken, welche … gelben Flecke der beiden Netzhäute getroffen haben. Durch die photo…aphische Abbildung der Iris des menschlichen Auges bei Magnesiumblitzen … von Herrn Cl. du Bois-Reymond[1] nachgewiesen worden, dafs eine …laptirung der Pupille bis zu den geringsten Lichtstärken hinab stattfindet; … ist in absoluter Dunkelheit so weit, dafs die Iris hinter dem Corneal…nde verschwindet. Diese Regulirung der Pupillenweite hat in hohem Grade …n Charakter organischer Zweckmäfsigkeit. Bei den höchsten Helligkeiten … die Pupille eng, und das Auge wird gegen den Einflufs überflüssig starken …d schädlichen Lichtes geschützt. Andererseits kommt in Betracht, dafs …t engeren Lichtkegeln im Allgemeinen schärfere Netzhautbilder zu erzielen …d. Wir haben aber oben schon gesehen, dafs die Sehschärfe, so weit sie …n der Empfindungsweise der Netzhaut abhängt, mit abnehmender Beleuchtung …nimmt. Es ist also, wenn auch bei schwachen Beleuchtungen möglichst …l erkannt werden soll, nothwendig, eine bestimmte Ausgleichung zu treffen …ischen der optischen Bildschärfe, die durch die Verengerung der Pupille …rbessert wird und dem Durchmesser der Pupille, welcher die Lichtmenge …d dadurch die Sehschärfe bestimmt. Dadurch ergiebt sich hier schon, dafs …rben, welche bei gleicher Verminderung der objectiven Lichtmenge gröfsere …hschärfe zeigen, was, wie oben erwähnt, wahrscheinlich wesentlich mit …nerer Stufenempfindlichkeit zusammenhängt, bei etwas engerer Pupille noch …t Vortheil gebraucht werden können, und also reflectorisch auf die Pupille … hellere Farben wirken müfsten.

Nun wäre es nach physiologischen Gesetzen allerdings nicht nothwendig, …fs wir diese Empfindung, die zu der Reflexbewegung der Iris Anlafs giebt, …len müfsten. In der That aber fühlen wir bei sehr grofsen Lichtinten-

[1] Cl. du Bois-Reymond, Über Photographien der Augen bei Magnesiumblitz. *Archiv für Physiologie.* … S. 394 u. 395. *Verhandl. d. Physiologischen Gesellschaft zu Berlin.* 23. März 1888.

sitäten doch einen Lichtschmerz, der auch willkürliche Muskeln, die der Augenlider und einige des Gesichts, reflectorisch zur Abwehr bestimmt. Dieser Schmerz ist nicht von der gesammten Lichtwirkung auf beide Sehfelder abhängig, wie der Reflex auf die Iris, sondern ist localisirt, und ist um so unangenehmer, je mehr Licht auf ein kleines Stück der Netzhaut vereinigt ist. Wir suchen deshalb unsere künstliche Beleuchtung so einzurichten, dafs wir die Flammen oder elektrisch glühenden Kohlenfäden unserer Leuchtapparate mit transparenten Hüllen umgeben, welche verhindern, dafs ein scharfes optisches Bild der Lichtquelle vom Auge direct gesehen wird. Das Licht der Lichtquelle erscheint uns dann vielmehr gleichmäfsig über die gröfsere Fläche des durchscheinenden Schirms verbreitet. Gute Schirme dieser Art, z. B. matt geschliffene weifse Gläser, lassen nichts von dem Lichte der Lichtquelle verloren gehn, sie vertheilen es nur über eine gröfsere Fläche.

Übrigens findet doch auch für diese Art des Lichtschmerzes bis zu einem gewissen Grade eine Addition der verschiedenen Flächenstücke der Sehfelder statt. Wenn ein heller dünner Wolkenschleier über beschneiten Flächen oder auch nur über hellen Steinflächen im Hochgebirge liegt, ohne dafs irgend eine einzelne Stelle des Bildes gerade blendend hell erschiene, kann doch der Anblick der ausgebreiteten lichten Umgebung nach kurzer Zeit höchst quälend werden.

Die störenden Veränderungen, welche durch starke Beleuchtung in der Netzhaut vorübergehend hervorgerufen werden, werden wir in den nächsten Paragraphen noch zu besprechen haben. Der Lichtschmerz charakterisirt sich in diesen Fällen als ein organisches Schutzmittel, was uns zur Wahrung der Integrität des Organs aufruft.

Da der Lichtschmerz wohl ausnahmslos eine gleichzeitig vorhandene Lichtempfindung begleitet, die die specifische Modalität der Gesichtsempfindungen hat, so erscheint er uns als ein untrennbarer Theil von dieser. Wenn er aber als Schmerz fühlbar wird, hat er mehr den Charakter einer Tastempfindung, des Kopf- oder Augenschmerzes. Er kann sich übrigens in Krankheitszuständen, z. B. während eines Anfalls von Hemikranie zu verhältnifsmäfsig schwachen Lichteindrücken gesellen.

Die Frage nach der Modalität der Schmerzempfindung ist übrigens für sämmtliche Gebiete der Physiologie noch nicht klar erledigt. Schmerzempfindende Nerven kommen allen blutführenden Geweben des Körpers zu, auch den motorischen Nervenstämmen und denen der höheren Sinnesnerven, welche letzteren, durchschnitten, neben der specifischen Erregung auch noch Tastschmerz erregen.

Indessen kann diese Frage hier unerledigt bleiben. Es genügt uns hier, zu wissen, dafs die Spuren einer solchen Empfindung, die sich bei hoher Intensität zu Schmerz steigern kann und durch die Auslösung von Schutzvorrichtungen eine wichtige Rolle spielt, im Auge deutlich erkennbar vorhanden sind. Ihre Scheidung von den anderen specifischen Empfindungen des Auges können wir nicht glatt durchführen, weil wir überhaupt nur solche Empfindungs-

regate rein von einander zu scheiden im Stande sind, deren objective Erungsmittel wir von einander trennen und einzeln auf unsere Sinne wirken sen können. Nun wird durch alles objective Licht, welches aus Spectralben zusammengesetzt ist, nothwendig ein Gemisch von Empfindungen der i Grundfarben erregt. Es enthalten also nothwendig alle Lichtempfindungen wechselndes, aber nie ganz fehlendes Quantum der Empfindung von Weifs, der sich dann noch ein oder zwei andere Farbenempfinduugen gesellen nnen. Durch diesen gemeinsamen Bestandtheil sind sie unmittelbar als wandte Empfindungen schon charakterisirt. Dazu kommt nun die Emdung des gemeinsam zum Schutze drängenden Schmerzes, die ja möglicher ise, wenn auch in niederem Grade und wenig bestimmt in ihren Intensitätsfen, bei allen Lichtstärken vorhanden sein kann, die noch zur Regulirung Pupillenweite Veranlassung geben.

Die drei Urempfindungen der Netzhaut haben wir in den früheren Abnitten unserer Untersuchung als drei unabhängig neben einander bestehende pfindungsweisen kennen gelernt. Ein in ihrem Wesen gegründetes geinsames Maafs ihrer Intensitäten haben wir bis jetzt nicht gefunden. Das afs, was wir vielfach angewendet haben, indem wir solche Quanta der drei undfarben gleich grofs setzten, die zusammen das Weifs der Sonne eren, war nur durch Hereinziehung eines äufseren Objects gegeben.

Mit Berücksichtigung der Blendungserscheinungen gewinnen wir nun r einen neuen Vergleichspunct zwischen ihnen. Quanta der Grundfarben, che gleichen Grad des Lichtschmerzes erregen, bekommen dadurch eine timmte Gröfsenbeziehung zu einander. Ist die organische Zweckmäfsigt des Auges richtig durchgearbeitet, so werden Helligkeiten von gleichem htschmerz gleich nachtheilig für das Auge und seinen Gebrauch sein. nn wir hierbei an der unteren Grenze des Gebiets der blendenden Helligten bleiben, so werden wir zu erwarten haben, dafs, wenn der Eindruck Helligkeit dem Lichtschmerz entspricht, gleich helle Quanta verschiedener ben die Empfindung der Helligkeitsstufen gleich stark beeinträchtigen. se Erwartung hat sich in der That bei den auf S. 402 bis 408 angerten Versuchen der Herren A. König und E. Brodhun bestätigt.

Von der Gröfse der unterscheidbaren Helligkeitsstufen hängt aber auch Gröfse ab, die wir als Klarheit (s. S. 394) bezeichnet haben. Bei gleicher rheit werden wir gleich feine Modulirungen der Körperoberfläche durch schattung erkennen können, und auch die Sehschärfe für kleine Objecte offenbar der Hauptsache nach dadurch ebenfalls mitbestimmt.

Daraus ergiebt sich nun für die oben gegebene Voraussetzung über den n des Begriffes der Helligkeit, dafs wir erwarten dürfen, bei gleicher lligkeit auch gleich viel sehend zu erkennen. Hierin liegt offendie wichtigste praktische Bedeutung der Helligkeit.

Wenn wir nun abwärts steigen von der Helligkeit, welche dem Maximum Klarheit entspricht, so nimmt die Klarheit immer mehr ab, ebenso die schärfe. Beide aber nehmen in den brechbaren Farben viel langsamer

ab, als in den rothen und gelben. Dementsprechend erscheinen uns die ersteren bei gleicher Abnahme der objectiven Lichtstärke auch heller, als die letzteren (PURKINJE's Phänomen).

In dieser Beziehung würde es also mit den bekannten Thatsachen gut übereinstimmen, wenn man den Satz aufstellen wollte: Heller erscheint uns von zwei verschiedenfarbigen Beleuchtungen diejenige, in der wir mehr feine Einzelheiten erkennen können, oder wissen dafs wir sie bei Anstellung des Versuchs würden erkennen können. Diese Auffassung würde auch die eigenthümliche Unsicherheit in der Schätzung der Helligkeit erklären, nur läfst sie sich nicht bis zu den Helligkeiten ausdehnen, die dem Maximum der Klarheit nahe kommen, weil da innerhalb grofser Breite der Lichtstärken die Klarheit dieselbe bleibt. Und in noch höheren Helligkeiten würde die Klarheit wieder abnehmen.

Wir können also in diesen Gebieten bei unserer Erklärung wenigstens für grofse Helligkeiten ein hinzukommendes neues Empfindungselement, den Lichtschmerz, nicht entbehren. Andererseits wäre die Annahme zur Zeit nicht zu widerlegen, dafs dieses andere Empfindungselement auch bei den niederen Lichtstärken nicht ganz fehlte, und, wenn auch nicht deutlich unterscheidbar, doch in dem Gesammteindruck des Auges mitwirkte. Sollte eine zweckmäfsige Regulirung der Pupillenweite davon abhängen, so würde es, wie schon oben bemerkt, für blaues Licht die Pupille stärker verengen, als für rothes, d. h. diese Empfindung der regulirenden Innervation, welche mit der der Helligkeit zusammenfiele, müfste PURKINJE's Phänomen hervorrufen.

Im Augenblick würde es mir verfrüht erscheinen, zwischen beiden Möglichkeiten entscheiden zu wollen.

E. BRÜCKES oben auf S. 422 erwähntes heterochromes Photometer, in welchem der Unterschied zweier Farben dadurch verkleinert werden soll, dafs man die scheinbare Gröfse der gefärbten kleinen Felder immer kleiner macht, und nun untersucht, bei welchem Grade der Beleuchtung die Zeichnung am ehesten verschwindet, führt bei der Anwendung auf sehr differente Farben eigenthümliche Schwierigkeiten durch die Farbenzerstreuung im Auge herbei. Eine von zwei Farben sehr differenter Brechbarkeit erscheint immer in Zerstreuungsbildern und breitet ihr Licht auch auf die anders gefärbten Felder aus. Von zwei nahehin gleich hellen Farben erscheint deshalb die schärfer gesehene heller, und je nach der Accommodation konnte ich in einem System gleichbreiter rother und blauer Streifen bald die rothen, bald die blauen heller sehen. Genau die mittlere Accommodation einzuhalten, bei der beide Farben gleiche Zerstreuungskreise geben, ist mir bei sehr feinen Streifen nicht gelungen.

Beziehungen zwischen Farbenempfindlichkeit und Helligkeitsempfindlichkeit. Bei den bisher besprochenen Untersuchungen über die wahrnehmbaren Abstufungen der Empfindungen hat man nur Helligkeitsabstufungen von Farben berücksichtigt, deren physikalische Qualität unverändert blieb. Aber dieselbe Fähigkeit des Auges, welche uns dies möglich macht, mufs uns nach TH. YOUNG's Hypothese auch in den Stand setzen den Unterschied zwischen zwei ungleich gemischten Farben zu erkennen, indem sie uns lehrt, dafs verschiedene Quanta der Grundfarben in

iden stecken. Wenn die eine Farbe mehr Roth enthält, die andere mehr au, und die Empfindungen dieses Roth und Blau elementare, neben einander existirende Empfindungen sind: so würde der Unterschied des Farbentons ei gleich heller Mengen dieser Farben constatirt sein, sobald wir eben ernnen können, dafs solche Unterschiede des Gehalts an Urfarben zwischen iden vorhanden sind.

Es entsteht also die Frage: Können wir die Unterscheidung der veriedenen Farbentöne auf die Unterscheidung der Intensitätsabstufungen der ei Urfarben in den verglichenen Farben begründen? Zeigt sich dabei rselbe Grad von Empfindlichkeit wie für Helligkeitsstufen, oder etwa ein öfserer oder kleinerer?

Es tritt dabei nur eine neue Complication dadurch ein, dafs mindestens ei, unter Umständen auch drei verschiedenartige Empfindungsunterschiede eichzeitig vorkommen und zusammenwirken, um die beiden Felder unterheidbar zu machen. Über die Art dieses Zusammenwirkens gleichzeitiger npfindungsunterschiede verschiedener Art können wir nun nur eine wahrheinliche Hypothese zu finden suchen und deren Berechtigung an ihren esultaten prüfen.

Nennen wir dE_1, dE_2, dE_3 die Gröfse (Deutlichkeit) der Empfindungsterschiede für die Elementarempfindungen, und dE die Deutlichkeit des sultirenden Unterschiedes, so ist zunächst klar, dafs dE nicht verschwinden nn, wenn nicht gleichzeitig:

$$dE_1 = dE_2 = dE_3 = 0.$$

Denn wenn auch nur eine dieser Gröfsen von Null verschieden ist, rd ein Unterschied der beiden Felder wahrnehmbar sein, der durch keine mbination mit qualitativ unterschiedenen anderen Empfindungen ausgeglichen erden kann.

Die einfachste Form der Functionen, welche diese Eigenschaft haben, diejenige, wo dE eine nothwendig immer positive homogene Function eiten Grades von den Gröfsen dE_1, dE_2 und dE_3 ist.

Da wir hier übrigens nur mit verschwindend kleinen Unterschieden zu un haben, werden wir Glieder höherer Ordnung der kleinen Gröfsen nicht berücksichtigen haben.

Wenn wir nun, im Sinne der Youngschen Theorie weitergehend, voraustzen, dafs hierbei nur die Bewufstseinsacte sich verbinden und gegenseitig rstärken, indem ein objectiver Unterschied derselben Felder durch zwei ler drei von einander unabhängige und verschiedenartige Eindrücke angeigt wird, so werden wir aus der oben bezeichneten Function zweiten Grades e Producte der dE_1, dE_2 und dE_3 wegzulassen haben. Deren Existenz irde nämlich anzeigen, dafs die Art und Richtung der physiologischen eize Einflufs auf die Endwirkung hätte, da je zwei der Producte ihr Voreichen ändern würden, wenn eine der Gröfsen dE_1 dasselbe änderte. Unsere tzt festgehaltene Hypothese bezweckt im Gegentheil, auszudrücken, dafs es

bei der gegenseitigen Unterstützung dieser Eindrücke nur auf die Existe und den Grad der Einwirkung auf die Aufmerksamkeit ankommt. Dies be schränkt uns also auf die Annahme

$$dE^2 = dE_1^{\,2} + dE_2^{\,2} + dE_2^{\,3} \ldots\ldots\ldots\ldots \Big\} \quad 4$$

Die Coëfficienten müssen gleich Eins gesetzt werden, da, wenn zwei de drei Gröfsen rechts gleich Null gesetzt werden, dE der Dritten gleic werden mufs.

Ich bemerke bei dieser Formel, dafs sie anzeigt, dE könne über di Schwelle treten, auch wenn dE_1, dE_2 und dE_3 etwas darunter sind, (jed einzelne aber $> V\,^1/_3 = 0{,}57735$ vom Schwellenwerth). Wenn aber die Werth der drei Variablen sehr verschieden werden, verliert sich der Einflufs de kleineren auf das Resultat mehr und mehr, da die Quadrate kleiner ächt Brüche noch kleinere ächte Brüche sind.

Allgemeinerer Ausdruck für Fechners Gesetz. Wir haben nunmehr d Gröfsen dE_1, dE_2, dE_3 durch ihre ihnen nach Fechners Gesetz zukommend Werthe zu ersetzen. Da es für viele Fälle genügt, den einfachsten und älteste Ausdruck dieses Gesetzes einzusetzen, in anderen wünschenswerth wird, etwas weite gehende Annäherungen zu erreichen, so setze ich

$$\left.\begin{aligned} dE_1 &= X \cdot \frac{dx}{x} \cdot \frac{1}{1 + lx + my + nz} \ldots\ldots\ldots \\ dE_2 &= Y \cdot \frac{dy}{y} \cdot \frac{1}{1 + lx + my + nz} \ldots\ldots\ldots \\ dE_3 &= Z \cdot \frac{dz}{z} \cdot \frac{1}{1 + lx + my + nz} \ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \quad 4a$$

Die Gröfsen X, Y, Z sollen Functionen von x, y, z bedeuten, von dene wir wissen, dafs sie bei hohen Werthen der Lichtstärken x, y, z nahin consta werden. Der letzte Factor in jeder Reihe bezeichnet den Einflufs der Blendun entsprechend dem auf S. 412 in Gleichung 3 gebrauchten Factor $\frac{1}{1 + \varepsilon r}$. Nur w dieser Blendungsfactor hier in anderer Weise zu gestalten, da nach den Versuche von A. König und E. Brodhun die Dämpfung für die verschiedenen Spectra farben von dem Maximum ihrer Stufenempfindlichkeit ab für alle gleichmäfsig naheh in demselben Verhältnisse wächst, und der betreffende Factor also gleiche For für alle Farben haben mufs. Dafs ein solcher gemeinsamer Grad der Dämpfun möglich ist durch intensive Verzehrung des arteriellen Sauerstoffs habe ich scho oben erörtert. Da nach den genannten Beobachtern gleicher Grad der Dämpfun mit gleicher Helligkeit zusammenfällt, so würde $(lx + my + nz)$ auch eine Gröfs sein, die bei hohen Helligkeiten Function der Helligkeit ist.

Übrigens ist hier wie oben zu bemerken, dafs dieser Factor nur für klein Grade der Blendung den Gang der Function ausdrücken soll.

Gesetz der Intensitätsabstufungen für verschiedene Farben abgeleitet.

Wenn wir eine zusammengesetzte Farbe nur in ihrer Lichtstärke ändern, igern wir alle ihre Bestandtheile um denselben Bruchtheil $d\varepsilon$, und wir haben o zu setzen:

$$dx = x \, . \, d\varepsilon, \qquad dy = y \, . \, d\varepsilon, \qquad dz = z \, . \, d\varepsilon.$$

Dann wird nach unserer Hypothese

$$dE = \frac{d\varepsilon}{1 + lx + my + nz} \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \; \ldots\ldots \quad 5$$

Für grofse Intensitäten, wo, wie bemerkt,

$$X = Y = Z = k$$

er Constanten k gleich werden, erhalten wir

$$dE = \frac{k \, . \, d\varepsilon}{1 + lx + my + nz} \sqrt{3} \; \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 5a$$

den Beobachtungen über den gleichmäfsigen Gang der Gröfse E bei allen Farben hohe Lichtstärken entspricht.

Für mäfsigere Lichtstärken können wir in erster Annäherung setzen

$$X = \frac{kx}{A + x}, \quad Y = \frac{ky}{B + y}, \quad Z = \frac{kz}{C + z}$$

A, B, C die Constanten bezeichnen, welche wir oben als die mittleren Werthe Grundfarben des Eigenlichts gedeutet haben.

Unter dieser Voraussetzung wird

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = k \sqrt{\left(\frac{x}{A + x}\right)^2 + \left(\frac{y}{B + y}\right)^3 + \left(\frac{z}{C + z}\right)^2} \quad 5b$$

Die drei Brüche, die unter dem Wurzelzeichen addirt sind, können jeder für von Null bis $+ 1$ steigen. Der höchste Werth der Wurzelgröfse, welcher tritt, wenn alle drei Grundfarben hell genug in der Mischfarbe sind, um den nflufs des Eigenlichts unmerklich zu machen, giebt

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = k \sqrt{3} = k \, . \, (1{,}7320) \; \ldots\ldots\ldots \quad 5c$$

Dagegen wird die Gröfse

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2},$$

che als Factor in dem oben gegebenen Ausdruck für das Mafs der Empfindlich- vorkommt, kleiner werden für geringere Lichtstärken einzelner oder aller

Grundfarben, und zwar wird der Werth dieses Factors am meisten beeinträchtigt werden, wenn die gröfseren unter den Werthen x, y, z auch durch die gröfseren unter den Werthen A, B, C dividirt werden. Der kleinste unter den drei letzteren Werthen C gehört dem Blau z an, während Roth und Grün nahe gleiche gröfsere Werthe A, B zu haben scheinen. Dem entspricht die gröfsere Stufenempfindlichkeit bei den lichtschwachen blauen Farben, die also auch von unsrer Formel angezeigt wird.

Ähnlichste Farben.

Wenn wir zwei sehr wenig verschiedene Farben haben, von denen der einen die Farbenwerthe der Grundfarben x, y, z, der anderen $x + dx$, $y + dy$ und $z + dz$ zukommen, und wir die erstere in ihrer Intensität um den Bruchtheil ε vermehren, so sind die Unterschiede in den Bestandtheilen der so vermehrten ersten und der zweiten Farbe $(dx - \varepsilon x)$, $(dy - \varepsilon y)$ und $(dz - \varepsilon z)$. Die Empfindung ihres Unterschiedes wird also nach unserer Hypothese:

$$dE = \sqrt{X^2 . \left(\frac{dx - \varepsilon x}{x}\right)^2 + Y^2 . \left(\frac{dy - \varepsilon y}{y}\right)^2 + Z^2 . \left(\frac{dz - \varepsilon z}{z}\right)^2} \quad \ldots \quad 6$$

Wenn wir nun ε so bestimmen wollen, dafs dE ein Minimum werde, ist zu setzen

$$\frac{\delta\,(dE^2)}{\delta\varepsilon} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6a$$

Dies giebt

$$-2\,X^2\,\frac{(dx - \varepsilon x)}{x} - 2\,Y^2\,\frac{dy - \varepsilon y}{y} - 2\,Z^2\,\frac{dz - \varepsilon z}{z} = 0$$

oder

$$\varepsilon\left[X^2 + Y^2 + Z^2\right] = X^2 . \frac{dx}{x} + Y^2 . \frac{dy}{y} + Z^2 . \frac{dz}{z} \quad \ldots\ldots \quad 6b$$

Der Werth von dE findet sich unter diesen Umständen

$$dE^2 = \left\{X^2\left(\frac{dx}{x}\right)^2 + Y^2 . \left(\frac{dy}{y}\right)^2 + Z^2\left(\frac{dz}{z}\right)^2\right\} - \varepsilon\left\{X^2\frac{dx}{x} + Y^2 . \frac{dy}{y} + Z^2 . \frac{dz}{z}\right\} \quad 6c$$

Wenn wir den Werth von ε aus Gleichung (6b) hineinsetzen, giebt dies

$$dE^2 = \frac{X^2 . Y^2 . \left(\frac{dx}{x} - \frac{dy}{y}\right)^2 + Y^2 . Z^2 . \left(\frac{dy}{y} - \frac{dz}{z}\right)^2 + Z^2 . X^2 . \left(\frac{dz}{z} - \frac{dx}{x}\right)^2}{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad \ldots \quad 6d$$

Für den Fall, dafs alle drei Farben hell genug sind, um $X = Y = Z = k$ setzen zu können, giebt dies

$$dE^2 = \frac{k^2}{3}\left[\left(d \log \text{n.}\ \frac{x}{y}\right)^2 + \left(d \log \text{n.}\ \frac{y}{z}\right)^2 + \left(d \log \text{n.}\ \frac{z}{x}\right)^2\right] \quad \ldots\ldots \quad 6e$$

Dieser Ausdruck ist unabhängig von dem Maaſs, in welchem die Quanta x, z gemessen sind. Die vorausgehende Gleichung (6d) setzt nur voraus, daſs be-hlich X, Y, Z in denselben Maaſsen wie x, y, z ausgedrückt sind.

Die Gleichung (6d) beziehlich (6e) würde die Gröſse des Farbenunterschiedes -drücken zwischen zwei Farben von verschiedenem Farbenton, die man durch -sende Regulirung ihrer Helligkeit einander möglichst ähnlich gemacht hat.

Es liegen nun Beobachtungen an Spectralfarben, angestellt von den Herren König und E. Brodhun, vor, welche die nöthigen Data liefern, um die hier -gestellte Formel mit Beobachtungen zu vergleichen. Die genannten beiden Herren -ten, wie schon früher angeführt, ein System von Messungen über die Resultate Mischungen von Spectralfarben angestellt, aus denen sich die Zusammensetzung -ser aus drei passend gewählten Grundfarben, die sie mit R, G, V bezeichneten, -echnen lieſs (S. 337—371. Zahlenangaben folgen weiter unten). Aus diesen -sen sich die Differenzen der Grundfarben berechnen, die zwei dicht neben ein--ler liegenden Spectralfarben entsprechen. Auſserdem haben dieselben Beobachter Reihe von Messungen der Empfindlichkeit des Auges für die Farbenunterschiede -en einander liegender Spectralfarben angestellt.[1] Sie haben dies so ausgeführt, beide Felder meines Farbenmischapparats für Spectralfarben ähnliche Farben -ten und der Beobachter sie dann auf Farbengleichheit einzustellen suchte. Der -ler der Einstellung nach Wellenlängen berechnet, wurde notirt, und aus je 50 Ein--lungsversuchen der mittlere Fehler berechnet.

Ich benutze hierbei nur diese letzten Beobachtungsreihen der genannten Beob--ter, weil die früheren, welche Herr A. König zusammen mit Herrn C. Dieterici -estellt hat[2] nicht mit derselben Sorgfalt gegen den Einfluſs von Helligkeitsunter--iede der verglichenen Farben geschützt waren.

Abgesehen von der oben schon erwähnten Aufgabe, die Empfindlichkeit -en Helligkeitsunterschiede mit der gegen Farbenunterschiede zu vergleichen, -de die von mir formulirte hypothetische Erweiterung des psychophysischen -etzes, wenn sie sich durchgängig bewährt, Eines für die Theorie der Farben--findungen leisten können, wozu bisher noch gar kein sicherer Anhalt gegeben , nämlich die Feststellung der wirklichen drei physiologisch einfachen Farben--findungen.[3]

Wir haben gesehen, daſs Newtons Farbenmischungsgesetz die ganze Mannig--gkeit der möglichen Farbenempfindungen zwar auf drei neben einander bestehende -egungsweisen des Sehnervenapparates zurückzuführen erlaubt, aber ganz oder fast unbestimmt läſst, welche Farbenempfindungen diesen drei elementaren Erre--gen entsprechen. Denken wir uns nach Newtons Regel die Spectralfarben und Mischungen in eine Farbentafel eingetragen, so würden die Orte der drei -ndfarben in der Youngschen Theorie nur der einzigen Beschränkung unterliegen, das zwischen ihnen construirte Dreieck sämmtliche Spectralfarben in sich -en muſs; wenn wir dagegen mit Hrn. E. Hering negative Erregungswerthe zu--n wollten, würden gar keine Beschränkungen in der Wahl der drei Urempfin--gen gegeben sein.

---

[1] E. Brodhun, *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane.* Bd. III. S. 89. 1892 und -andlungen der Physiologischen Gesellschaft zu Berlin 1885—1886. No. 17 u. 18.

[2] A. König und C. Dieterici, *Wied. Annalen d. Physik.* XXII. S. 579. 1884 und *Gräfe's Archiv* -phthalmologie. Bd. 30. (2) S. 171. 1884.

[3] Diese Untersuchung ist kürzlich veröffentlicht in *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnes-* -. Bd. II. S. 1—30. Bd. III. S. 1—20.

Dieses Problem erschien mir wichtig genug, um seine Lösung, so gut es eben mit den bisher vorliegenden, in vieler Beziehung unzureichenden Beobachtungen angeht, zu versuchen, auch wenn man nur hoffen durfte, eine vorläufige angenäherte Lösung zu erhalten. Gleichzeitig wird sich ja dabei zeigen müssen, ob auch die Beobachtungen über die Farbenempfindlichkeit des trichromatischen Auges sich so weit unserer psychophysischen Hypothese fügen, als es bei den bestehenden Fehlergrenzen der Beobachtungen zu erwarten ist.

In letzterer Beziehung erinnere ich hier zunächst an die zur Zeit noch bestehenden Unzulänglichkeiten der Beobachtungen. Grofse Genauigkeit ist überhaupt bei allen Messungen der Grenze, wo irgend eine Erscheinung noch wahrnehmbar ist, ehe sie ganz verschwindet, der Regel nach nicht zu erreichen. Hier handelt es sich um die Wahrnehmung des Farbenunterschiedes benachbarter Spektralfarben. Dabei, wie in fast allen ähnlichen Fällen, spielen allerlei uncontrollirbare Abänderungen in dem Zustande unserer Nervenapparate und psychischen Thätigkeiten mit, welche sich schliefslich in dem abweichenden Gange der Messungsergebnisse zu erkennen geben.

Die Vergleichungen des Farbentons sind zwar in den letzten Messungsreihen der Hrn. A. König und E. Brodhun[1] mit gleich hell erscheinenden Farben durchgeführt worden, und wir dürfen wohl annehmen, dafs die beiden Beobachter sich zu diesem Zwecke die günstigsten Helligkeiten herzustellen gesucht haben. Solche würden in den Gültigkeitsbereich des normalen Fechnerschen Gesetzes fallen, wo die wahrnehmbaren Helligkeitsstufen der absoluten Lichtstärke proportional sind. Aber selbst, wenn sie dies für die sämmtlichen Spectralfarben haben einhalten können, ist es fraglich, ob nicht Abweichungen von dieser einfachsten Form des Fechnerschen Gesetzez da eintreten konnten, wo einer oder zwei der elementaren Farbeneindrücke in der Gesammtfarbe sehr schwach vertreten waren, z. B. bei sehr gesättigten Farben, deren schwache andersfarbige Einmischungen den Farbenunterschied bedingen. Hier konnten sich solche Abweichungen von dem genannten Gesetz geltend machen, wie sie bei geringen Helligkeiten eintreten. In der That werden wir Abweichungen dieser Art zwischen Rechnung und Beobachtung begegnen. Wären Angaben über die absoluten Lichtstärken der verglichenen farbigen Felder gegeben worden, so würden wir die von dem genannten Umstand bedingte gröfsere Unempfindlichkeit gegen die betreffenden Farbenunterschiede berechnen können; sehr grofs können allerdings diese Abweichungen unter den Verhältnissen des Farbendreiecks, die wir finden werden, nicht sein, da fast alle Spectralfarben sich als stark gemischt aus den Grundfarben ergeben werden.

Die Zahlenwerthe, welche die thatsächliche Unterlage für die bezeichnete Rechnung bilden, sind bei verschiedenen, von einander unabhängigen Untersuchungen gewonnen worden, die ohne Rücksicht auf den gegenwärtig vorliegenden Zweck durchgeführt wurden. Wäre Letzteres der Fall gewesen, so hätten einige Erleichterungen der Rechnung und eine wesentliche Sicherung ihrer Genauigkeit erreicht werden können. Namentlich wird die Rechnung erschwert und die Genauigkeit der Ergebnisse dadurch erheblich beeinträchtigt, dafs einerseits die Bestimmungen der Mischungsverhältnisse der Farben und die Bestimmungen der Sehschärfe für Farbenunterschiede andererseits nicht durchgängig für dieselben Wellenlängen gemacht sind.

---

[1] E. Brodhun, *Verhandl. der physiol. Gesellschaft zu Berlin*, 1885—1886. No. 17 u. 18. — Eine ausführlichere Mittheilung über diese Beobachtungsreihen in *Zeitschrift f. Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*. Bd. III. S. 89. 1892.

dafs die Zahlen für die Mischungsverhältnisse, die in der Rechnung gebraucht werden, u Theil schon durch Interpolation gefunden werden mufsten. Vollends konnten gleichzeitig gebrauchten Werthe der nach den Wellenlängen genommenen Differtialquotienten der Farbenwerthe im Spectrum überhaupt nur durch Interpolation unden werden, und gerade an einigen Stellen, wo diese Differentialquotienten ı sehr schnell ändern, wären engere Intervalle für die Beobachtungen höchst ıschenswerth gewesen.

Da die von Hrn. A. König gefundenen Zahlen, welche selbst schon die Umhnung von dem prismatischen Spectrum des Gaslichtes auf das Interferenzctrum des Sonnenlichtes mit Hülfe einer empirischen Formel erlitten hatten, erkennbare kleine Unregelmäfsigkeiten der nach ihnen construirten Intensitätsven der Elementarfarben erkennen liefsen, schien es am besten, eine graphische erpolation zu Grunde zu legen, wie eine solche übrigens der genannte Autor in von ihm und C. Dieterici veröffentlichten Curven selbst angewendet hat. se Interpolation ist von Hrn. Dr. Sell, der den gröfsten Theil der höchst langrigen Rechnungen durchgeführt hat, gemacht worden, und zwar zu einer Zeit, weder er noch ich übersehen konnten, welchen Einflufs auf die erhofften Rechıgsergebnisse die Führung der Curve haben würde.

Für 18 Wellenlängen lagen ausreichende Beobachtungen vor. Wenn man anmen durfte, dafs durchgängig die einfache erste Form des Fechnerschen Gezes als gültig betrachtet werden durfte, waren sechs Parameter zu suchen, mit en Hülfe sich für alle diese Wellenlängen nahehin gleiche Werthe für das Maafs Empfindlichkeit des Auges hätten ergeben müssen. Die Gleichungen, aus denen Parameter gefunden werden mufsten, waren sechsten Grades nach jedem von en, also nur durch allmähliche Annäherungsrechnungen lösbar. Es liefsen sich och Regeln über den Sinn der Änderungen der Werthe der Empfindlichkeit für einzelnen Wellenlängen bei Änderungen der einzelnen Parameter finden, welche Leitfaden für die Rechnung dienen konnten.

Die Rechnung konnte schliefslich überhaupt nur so weit fortgesetzt werden, die übrigbleibenden Differenzen zwischen Rechnung und Beobachtung keinen elmäfsigen Gang mehr erkennen liefsen, oder wenigstens keinen, der sich nicht on aus den bekannten Abweichungen vom Fechnerschen Gesetze hätte erklären en. Die grofse Arbeit, welche es gemacht hätte, die Differenzen durch Rechg nach der Methode der kleinsten Quadrate noch zu verkleinern, schien gegenüber der ungenügenden Genauigkeit der zu Grunde liegenden Beobachgen, welche künftig unschwer werden verbessert werden können, nicht gerechtigt.

Da diese Untersuchung einen Zusammenhang nachzuweisen sucht zwischen fsen, für die ein solcher bisher durchaus nicht bekannt war, und die, wenn die uns vorausgesetzte Abhängigkeit oder eine analoge zwischen ihnen nicht bede, ebensogut im Verhältnisse von 1 : 100 oder 1 : 1000 hätten stehen können, t einander annähernd gleich zu sein, so wird es immerhin als ein voriges Resultat zu betrachten sein, wenn dieselben, trotz aller besprochenen ünstigen Verhältnisse, nur im Verhältnifs von 1 : 1,5 von ihrem Mittelwerthe eichen.

Für die hier durchzuführende Rechnung begnügen wir uns mit der einfachsten m des Fechnerschen Gesetzes, in dem wir die oben mit X, Y, Z bezeichneten fsen und den Blendungsfactor alle gleich Eins setzen; wir setzen also

$$dE_1 = k \cdot \frac{dx}{x}$$
$$dE_2 = k \cdot \frac{dy}{y} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$
$$dE_3 = k \cdot \frac{dz}{z}$$

Es ergiebt sich also

$$dE = k \cdot \sqrt{\left(\frac{dx}{x}\right)^2 + \left(\frac{dy}{y}\right)^2 + \left(\frac{dz}{z}\right)^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7a)$$

Um die Wahrnehmbarkeit der Farbenabstufungen auf die der Helligkeitsabstufungen zurückzuführen, wenden wir diese Gleichung zunächst auf den Fall an, wo nur die Lichtstärken zweier Farben gleicher Qualität verglichen werden, also die Intensitäten aller drei Grundfarben in der einen Lichtmenge die in der anderen um einen gleichen Bruchtheil übertreffen. Wir setzen daher

$$dx = \varepsilon \cdot x, \quad dy = \varepsilon \cdot y, \quad dz = \varepsilon \cdot z,$$

worin ε einen kleinen ächten Bruch bezeichnet. Dies ergiebt wie in (5c)

$$dE = k \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{3} = k \cdot \varepsilon \cdot 1{,}7320 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Der Werth von k ist, je nach der Methode der Beobachtung, verschieden grofs zu nehmen. Der aus den Principien der Wahrscheinlichkeitsrechnung hergeleitete theoretische Werth von k bei solchen Beobachtungen, wo man ε als den mittleren Fehler bestimmt hat, ist 1,8238 mal so grofs zu nehmen, als wenn ε den kleinsten Fehler bedeutet, den man in 10 Fällen immer noch wahrnehmen konnte.

Ersteres ist bei KÖNIGs und BRODHUNs Messungen der Empfindlichkeit für Farbenunterschiede, letzteres bei denen der beiden genannten Beobachter für Helligkeitsstufen geschehen.

In einer Arbeit von Hrn. UHTHOFF[1] ist dieses Verhältnifs empirisch bestimmt. Es schwankt zwischen den Werthen 1,25 und 2,44 und beträgt im Mittel 2,025. was mit der theoretischen Ableitung des Werthes ausreichend stimmt.

Bestimmung ähnlichster Farbenpaare. Die oben gegebene Gleichung (6e) ergiebt, wenn wir die angeführten Vereinfachungen vornehmen, den Werth des Empfindungsunterschieds wenn er durch passende Regelung der Lichtstärke auf sein Minimum gebracht ist.

$$\frac{dE^2}{k^2} = \frac{1}{3}\left\{\left(\frac{dx}{x} - \frac{dy}{y}\right)^2 + \left(\frac{dy}{y} - \frac{dz}{z}\right)^2 + \left(\frac{dz}{z} - \frac{dx}{x}\right)^2\right\} \quad \ldots\ldots \quad (8a)$$

---

[1] W. UHTHOFF, Über die Unterschiedsempfindlichkeit des normalen Auges gegen Farbentöne im Spectrum. *Gräfe's Archiv.* Bd. XXXIV. (4). S. 1. 1888.

er wenn wir mit $d\lambda$ den durch die Beobachtungen gefundenen mittleren Fehler · Wellenlänge λ bezeichnen

$$\cdot = \frac{\delta\lambda}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(\frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{d\lambda} - \frac{1}{y} \cdot \frac{dy}{d\lambda}\right)^2 + \left(\frac{1}{y} \cdot \frac{dy}{d\lambda} - \frac{1}{z} \cdot \frac{dz}{d\lambda}\right)^2 + \left(\frac{1}{z} \cdot \frac{dz}{d\lambda} - \frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{d\lambda}\right)^2} \cdot \quad 8b$$

e x, y, z hängen nun mit den Elementarfarben R, G, V, welche zur Angabe ; Farbenwerthes der verschiedenen Spectralfarben von den Hrn. A. König und Dieterici gebraucht sind, nach Newtons Gesetz durch lineare homogene eichungen zusammen, deren Coefficienten aber zunächst noch unbekannt sind. zeichnen wir diese Werthe mit

$$\left.\begin{aligned} x &= a_1 . R + b_1 . G + c_1 . V \\ y &= a_2 . R + b_2 . G + c_2 . V \ldots\ldots\ldots\ldots \\ z &= a_3 . R + b_3 . G + c_3 . V \end{aligned}\right\} \quad 9$$

ist zunächst zu bemerken, dafs je einem der Coefficienten in jeder Horizontalhe ein willkürlicher Werth gegeben werden kann, da

$$\frac{dx}{x}, \frac{dy}{y} \text{ und } \frac{dz}{z}$$

e Werthe nicht ändern, wenn jeder der Gröfsen x, y, z ein willkürlicher conter Factor hinzugefügt wird. Sonst ist die Wahl der Coefficienten im Sinne 1 Youngs Theorie nur der einen Beschränkung unterworfen, dafs die Werthe 1 R, G, V, welche den Spectralfarben angehören, keine negativen Werthe von y, z geben dürfen. Das wird nie der Fall sein können, wenn sämmtliche Coeffinten a, b, c positive Werthe haben. Wenn aber negative Werthe vorkommen, d man prüfen müssen, ob alle Spectralfarben positive x, y, z ergeben.

Übrigens wird man von jedem System von Coefficienten der $[x, y, z]$, was · letzteren Bedingung Genüge leistet, zu anderen der $[x_1, y_1, z_1]$ übergehen nnen, indem man setzt

$$x_1 = x + fy + gz$$
etc.

Wenn die f und g positiv sind, wird auch das neue System für die Spectralben keine negativen Werthe ergeben.

Es kommt nun zunächst darauf an, sechs Verhältnisse der Constanten in den ichungen 9 so zu bestimmen, dafs die Werthe von dE aus den Gleichungen 8b : einander möglichst gleich werden. Dann würde nachher der berechnete Grad · Empfindlichkeit zu vergleichen sein mit dem, der für Helligkeitsunterschiede telst der Gleichung 8 gefunden ist.

Die Werthe der Constanten, die uns bis jetzt in unseren Berechnungsversuchen besten zu genügen schienen, waren

$$\left.\begin{aligned} x &= 0{,}7964 \,.\, R - 0{,}3515 \,.\, G + 0{,}555 \,.\, V \ldots\ldots \\ y &= 0{,}2612 \,.\, R + 0{,}3483 \,.\, G + 0{,}3930 \,.\, V \ldots\ldots \\ z &= 0{,}250 \,.\, R + 0{,}125 \,.\, G + 0{,}625 \,.\, V \ldots\ldots \end{aligned}\right\} 9_a$$

Die im Folgenden angegebenen Werthe der Differentialquotienten

$$\frac{dR}{d\lambda}, \ \frac{dG}{d\lambda}, \ \frac{dV}{d\lambda},$$

sowie auch einige der Werthe von R, G, V wurden, wie oben bemerkt, durch graphische Interpolation theils gefunden, theils ausgeglichen.

Die $\delta\lambda$ sind die von König gefundenen mittleren Fehler, welche in je fünfzig Versuchen, das Spectrometer auf gleiche Farben einzustellen, begangen wurden.

Tafel I.

Data für die Rechnung

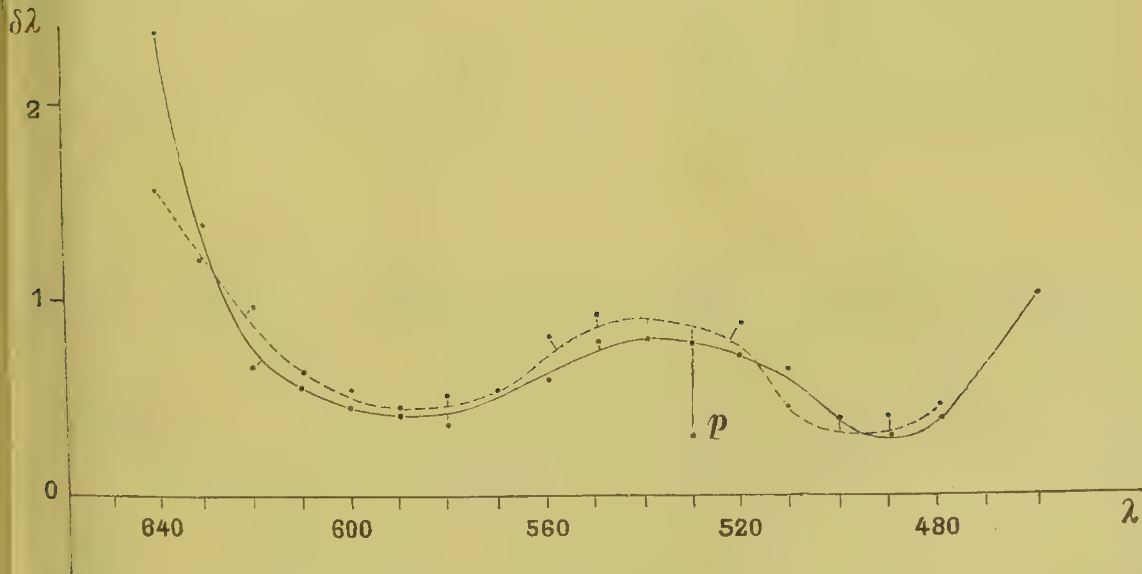
Wellen-länge	R	G	V	$\frac{dR}{d\lambda}$	$\frac{dG}{d\lambda}$	$\frac{dV}{d\lambda}$	$\delta\lambda$
640 $\mu\mu$	2,66	0,22	0	— 0,116	— 0,023	0	2,37 $\mu\mu$
630 „	3,95	0,54	0	— 0,129	— 0,044	0	1,35 „
620 „	5,35	1,12	0	— 0,160	— 0,078	0	0,67 „
610 „	6,60	2,17	0	— 0,107	— 0,123	0	0,55 „
600 „	7,51	3,60	0	— 0,081	— 0,165	0	0,45 „
590 „	8,27	5,48	0	— 0,067	— 0,208	0	0,42 „
580 „	8,90	7,65	0	— 0,055	— 0,200	0	0,38 „
570 „	9,37	9,98	0	— 0,039	— 0,199	0	0,51 „
560 „	9,56	11,45	0,22	0	— 0,100	0	0,58 „
550 „	9,21	12,00	0,3	+ 0,068	0	— 0,0138	0,77 „
540 „	8,30	11,55	0,49	+ 0,121	+ 0,083	— 0,0233	0,80 „
530 „	6,54	10,36	0,75	+ 0,202	+ 0,139	— 0,0326	0,77 „
520 „	4,62	8,45	1,10	+ 0,171	+ 0,228	— 0,0400	0,71 „
510 „	3,0	5,75	1,55	+ 0,162	+ 0,271	— 0,0536	0,64 „
500 „	1,50	3,32	2,2	+ 0,114	+ 0,168	— 0,0887	0,35 „
490 „	0,78	2,24	3,6	+ 0,051	+ 0,059	— 0,208	0,31 „
480 „	0,4	1,88	7,9	+ 0,043	+ 0,028	— 0,52	0,38 „

Dies sind die durch die Beobachtungen gegebenen Grundlagen der Rechnung. Die folgende Tafel II. giebt die Ergebnisse der Rechnung.

Tafel II.

Wellen-länge	x	y	z	$\frac{1}{x}\cdot\frac{dx}{d\lambda}$	$\frac{1}{y}\cdot\frac{dy}{d\lambda}$	$\frac{1}{z}\cdot\frac{dz}{d\lambda}$	dE
640 $\mu\mu$	2,05	0,73	0,69	— 0,0413	— 0,0496	— 0,0455	(0,0263)
630 „	2,98	1,18	1,10	— 0,0294	— 0,0402	— 0,0346	0,0196
620 „	3,88	1,70	1,47	— 0,0261	— 0,0391	— 0,0359	0,0120
610 „	4,52	2,38	1,92	— 0,0094	— 0,0298	— 0,0221	0,0151
600 „	4,75	3,10	2,32	— 0,0014	— 0,0250	— 0,0175	0,0146
590 „	4,68	3,95	2,76	+ 0,0043	— 0,0226	— 0,0156	0,0158
580 „	4,43	4,86	3,18	+ 0,0060	— 0,0171	— 0,0122	0,0125
570 „	3,99	5,79	3,59	+ 0,0098	— 0,0136	— 0,0097	0,0173
560 „	3,77	6,43	3,96	+ 0,0093	— 0,0054	— 0,0032	0,0125
550 „	3,31	6,47	3,99	+ 0,0142	+ 0,0017	+ 0,0021	0,0146
540 „	2,86	6,26	3,82	+ 0,0210	+ 0,0078	+ 0,0064	0,0173
530 „	2,00	5,51	3,40	+ 0,0469	+ 0,0155	+ 0,0140	(0,0389)
520 „	1,37	4,51	2,90	+ 0,0196	+ 0,0300	+ 0,0159	0,0138
510 „	1,24	3,31	2,44	+ 0,0043	+ 0,0338	+ 0,0167	(0,0253)
500 „	1,33	2,38	2,16	— 0,0129	+ 0,0219	— 0,0027	0,0169
490 „	1,83	2,38	2,72	— 0,0287	— 0,0202	— 0,0404	0,0133
480 „	4,04	3,86	5,27	— 0,1028	— 0,0725	— 0,0877	0,0141
						Mittel:	0,0176

Fig. 175.



Um eine anschauliche Übersicht über die bisher erreichte Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Theorie zu geben, habe ich in *Fig. 175* die Werthe

des $\delta\lambda$ dargestellt, wie sie KÖNIGS letzte Beobachtungen ergeben haben. Diese sind durch die ausgezogene Curve verbunden. Die punctirte Curve dagegen giebt die Werthe von $\delta\lambda$, wie sie nach der Theorie sein müſsten, um ein constantes dE bei den gemachten Annahmen über die Grundfarben zu erreichen. Man sieht, daſs eine ziemlich ähnlich verlaufende Curve, wie die der beobachteten Werthe, durch die gegebene Theorie erreicht werden kann. Auch würden weitere Verbesserungen der Constanten a, b, c wohl noch merklich bessere Übereinstimmung haben erreichen lassen, als es bisher gelungen ist. Die auffallendste Abweichung ist bei $\lambda = 530\ \mu\mu$, wo ein einzelner ganz kleiner Werth von $\delta\lambda$, in *Fig. 175* mit *j* bezeichnet (beziehlich groſser Werth von dE), mitten zwischen solchen erscheint die dem dort bestehenden Maximum von $\delta\lambda$ entsprechen. Es liegt diese Stelle im Grün nahe bei der Linie E, und dort muſste ein besonders weites Intervall (von $\lambda = 536\ \mu\mu$ bis $516{,}5\ \mu\mu$) durch Interpolation ausgefüllt werden, wodurch die Werthe der Differentialquotienten an jener Stelle erheblich unsicher werden. Der hier vorliegende jähe Sprung zwischen den drei benachbarten Werthen läſst sich durch keine Combination der Constanten a, b, c beseitigen. Es ist hauptsächlich das Glied $\left(\frac{1}{x}\cdot\frac{dx}{d\lambda}\right)$, was hier die Abweichung verursacht, und diese wird um so gröſser, da x hier einem Minimum ganz nahe ist und das x im Nenner deshalb sehr klein ausfällt.

Übrigens könnte es wohl sein, daſs eine der Curven der Farbenwerthe der Spectralfarben eine Ecke hätte mit plötzlicher Änderung des Differentialquotienten. Unsere Interpolationsrechnungen, die von der Annahme einer continuirlichen Krümmung der Curven ausgehen, müssen an einer solchen Stelle irre führen.

Sonst ist noch zu bemerken, daſs überall, wo die Lichtstärke einer der drei Farben gegen die anderen sehr zurücktritt, die verminderte Empfindlichkeit für die Unterschiedsschwellen schwachen Lichtes sich geltend macht. Dort wird, wenn nicht gleichzeitig der Differentialquotient nach λ sehr klein wird, zu erwarten sein, daſs die Empfindlichkeit für die Farbenunterschiede in der Beobachtung sich geringer ($\delta\lambda$ dagegen gröſser) zeigen wird, als sie der Theorie nach sein sollte. Das ist also auſser bei der schon angegebenen Stelle zwischen $530\ \mu\mu$ und $510\ \mu\mu$, wo das eingemischte Roth sehr schwach ist, auch für die grüne Elementarfarbe am rothen Ende des Spectrum der Fall, und dem entspricht hier die Abweichung der Curven voneinander, welche *Fig. 175* bei $640\ \mu\mu$ zeigt.

Die gefundenen Elementar- oder Urfarben.

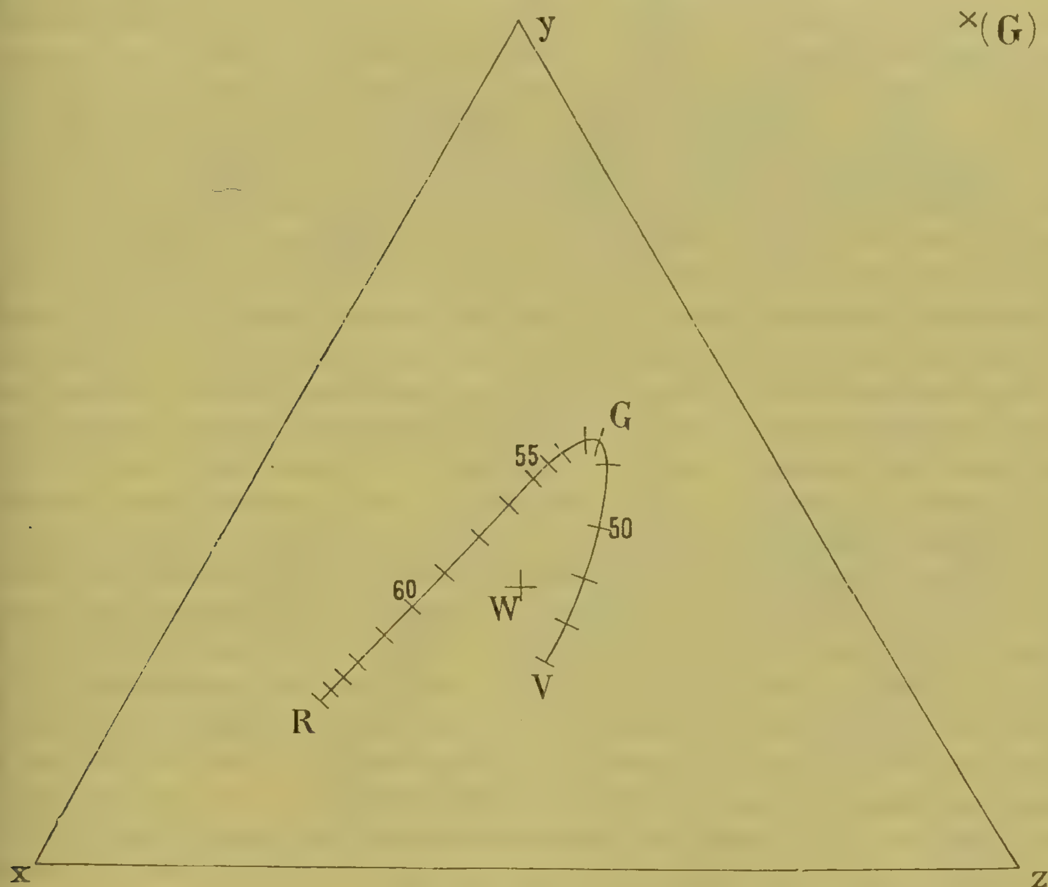
Das Verhältniſs der durch unsere Rechnung wenigstens provisorisch gefundenen Elementarfarben zu den Spektralfarben macht sich am besten in einem Farbendreieck anschaulich. Ein solches ist in *Fig. 176* construirt. Die Farbenwerthe der neuen Grundfarben sind einander gleich gesetzt und dieselben daher in den Ecken des gleichseitigen Dreiecks $x\,y\,z$ angebracht, wobei nach den auf S. 454 gegebenen Werthen Weiſs (nämlich das des Sonnenlichts) im Mittelpunkt des Dreiecks bei W liegt. Die Curve $R\ G\ V$ entspricht der Reihe der Spectralfarben. Diese liegen alle ziemlich entfernt von den Ecken des Dreiecks, sind also, wie es schon die oben gegebenen Zahlenwerthe anzeigten, stark gemischt, auch die Endfarben Roth und Violett.

Das spectrale Roth würde nach den auf S. 454 angegebenen Werthen eine weiſsliche und ein wenig gelbliche Modification der Grundfarbe x sein; letztere also würde etwa ein höchst gesättigtes Carminroth darstellen. Das spectrale Violett

äre eine weifsröthliche Abänderung der Urfarbe z, und diese letztere wäre so etwa mit dem Ultramarinblau im Farbenton zu vergleichen. Beide Farben-estimmungen stimmten demnach mit Hrn. E. HERINGS Vermuthungen. Endlich ürde die Urfarbe y im Farbenton der Stelle zwischen $\lambda = 540\ \mu\mu$ und $560\ \mu\mu$ ntsprechen, wo $x = z$ ist; das wäre im gelblichen Grün, und zwar grüner, als ie Complementärfarbe des Violett, etwa dem Grün der Vegetation entsprechend.

Die starke Wölbung der Curve bei G entspricht dem spectralen Grün bei RAUNHOFERS Linie E. Das (G) aufserhalb des Dreiecks bezeichnet das von . KÖNIG und C. DIETERICI ursprünglich als Grundfarbe für ihre Mischungs-

Fig. 176.



ersuche gewählte Grün G. Diese Farbe war übrigens auch schon aufserhalb ihres ach der Analogie der farbenblinden Augen construirten Farbendreiecks 𝔑, 𝔊, 𝔙 gelegen.

Da das spectrale Grün dem Rande des Farbendreiecks verhältnismäfsig nahe egt, bekommt es eine unter den übrigen Farben, die im Farbenton der Mischung veier Urfarben entsprechen, ziemlich hervortretende Farbensättigung. Die bei $= 530\ \mu\mu$ hervortretende Unregelmäfsigkeit der Empfindlichkeitscurve fällt gerade diese starke Krümmung der Farbencurve im Grün, was die Unsicherheit der ort gemachten Messungen und Interpolationen erklärlich machen mag.

Übrigens zeigt diese Curve an, dafs alle einfachen Farben die sämmtlichen chtempfindlichen Nervenelemente des trichromatischen Auges gleichzeitig und mit ur mäfsigen Intensitätsunterschieden erregen. Wenn wir also diese Erregungen uf die Anwesenheit dreier photochemisch zu verändernder Substanzen in der

Netzhaut hypothetisch zurückführen, so müssen wir schliefsen, dafs diese alle drei nahehin gleiche Grenzen der Lichtempfindlichkeit haben und nur untergeordnete Abweichungen von mäfsigem Betrage im Gange der photochemischen Wirkung für die verschiedenen Wellenlängen zeigen. Ähnliche Abänderungen durch Zumischung anderer Substanzen, Substitutionen analoger Atomgruppen u. s. w. kommen ja auch bei anderen photochemisch veränderlichen Substanzen vor, wie sie in der Photographie gebraucht werden, z. B. bei den verschiedenen Haloidsalzen des Silbers.

Vergleich mit dichromatischen Augen.

Die hier gefundenen Grundfarben stimmen nicht mit denen überein, welche die Hrn. A. König und C. Dieterici aus der Vergleichung farbenblinder Augen mit normalsichtigen hergeleitet haben. Indessen liegt in den Thatsachen hierbei kein nothwendiger Widerspruch. Nur die besondere, von Th. Young ausgegangene und von den meisten Bearbeitern der Theorie, auch von mir selbst, von E. Hering, A. König, und C. Dieterici früher angenommene Erklärungsweise, dafs bei den Dichromaten einfach eine der Grunderregungen des trichromatischen Auges nicht zu Stande komme, tritt in Widerspruch mit dem bezeichneten Ergebnifs. Aber es ist eine allgemeinere Hypothese über das Wesen der Dichromasie möglich, bei welcher die Nothwendigkeit aufhört, dafs die fehlende Farbe eine der Grundfarben sei, und doch die Regel festgehalten wird, dafs alle Farbenpaare, welche für das normale trichromatische Auge gleich aussehen, auch für das dichromatische gleich aussehend bleiben.

Um dies durch ein einfaches Beispiel anschaulich zu machen, nehme man an, dafs die Lichteinwirkungen, welche sonst die Empfindung Grün erregen, die grünempfindenden Nerven nicht, wohl aber die roth- und blauempfindenden in bestimmtem festen Verhältnifs erregen. Alle Empfindungen eines solchen Auges würden aus Roth und Blau gemischt erscheinen; es wäre dichromatisch. Aber die Farben, welche auf der Farbenscheibe in denjenigen Geraden liegen, die durch den Ort der grünen Grundempfindung gezogen werden, werden im Allgemeinen nicht gleich erscheinen, wie es unter der älteren Annahme der Fall sein würde, wo einfach Ausfall der grünen Erregung angenommen wurde. Denn statt der wechselnden Menge des Grün im trichromatischen Auge würde hier eine wechselnde Menge einer bestimmten Purpurfarbe zu dem schon vorhandenen, verschieden gemischten Purpur hinzukommen und diesen in der Mehrzahl der Fälle verändern. In diesem Falle würde in der That der Schnittpunkt derjenigen Linien des dichromatischen Feldes, welche dichromatisch gleich erscheinende Farben enthalten, aufserhalb des Farbendreiecks jenseits der grünen Ecke desselben liegen müssen.

Dies Verhältnifs bliebe ungeändert, wenn wir hierzu noch weiter annehmen wollten, dafs jede Erregung des Roth, auch die eben neu angenommene, in bestimmtem Verhältnifs auch die grünempfindenden Nervenheile erregte, und als eine bestimmte Art Gelb zur Empfindung brächte, und jede Erregung des Blau ebenso eine bestimmte Art Grünblau. Dann wären sämmtliche Empfindungen eines solchen Auges aus Gelb und Grünblau zu mischen, während der Schnittpunkt der dichromatischen Linien gleichen Aussehens dadurch nicht geändert würde.

Allgemeinere Form der Dichromasie.

Bezeichnen wir, wie bisher, mit x, y, z die Farbenwerthe der verschiedenen Lichter für das trichromatische Auge und damit zugleich das Maafs für die ihnen entsprechenden physiologischen Processe im Sehnervenapparat, welche neben einander

stehen und sich addiren bei der Erzeugung der Farbenempfindung. Dagegen ollen wir mit ξ, η, ζ die entsprechenden physiologischen Processe im dichromatischen uge bezeichnen.

Die erste Regel, die sich aus den Beobachtungen ergeben hat, ist die, dafs rbige Lichter, die den normalen Trichromaten gleich erscheinen, es auch für die ichromaten thun. Also wenn x, y und z gleichen Werth für zwei aus verschiedenen pectralfarben gemischte Lichter haben, haben für beide auch ξ, η und ζ gleiche erthe, d. h. die letzteren Gröfsen sind Functionen von x, y, z, und nur von diesen.

Die zweite Regel ist die, dafs NEWTONS Mischungsgesetz auch für die arben des dichromatischen Systems anwendbar ist, was zu einer Gleichung von er Form führt

$$\xi_{(x+x_1)} = \xi_{(x)} + \xi_{(x_1)},$$

oraus folgt, dafs die ξ, η, ζ nur lineare Functionen von x, y, z sein können, und war homogene lineare, da $\xi = \eta = \zeta = 0$ sein mufs, wenn $x = y = z = 0$. a aber ξ, η, ζ nur zwei Variable vertreten sollen, so wird zwischen ihren Werthen ine Gleichung stattfinden müssen, die wiederum nur eine lineare sein kann. Wir ommen also zu drei Gleichungen folgender Form:

$$0 = \alpha\xi + \beta\eta + \gamma\zeta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \} \; 10$$

$$\left.\begin{aligned} \xi &= p_1 x + p_2 y + p_3 z \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \eta &= q_1 x + q_2 y + q_3 z \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \; 10a$$

Die Coefficienten p und q dieser letzteren Gleichungen müssen positiv sein, a ξ und η für alle positive Werthe von x, y und z positiv sein müssen. Dagegen mufs einer der Coefficienten der Gleichung 10 nothwendig das entgegenesetzte Vorzeichen von den beiden anderen haben, da ξ, η, ζ in TH. YOUNGS heorie nothwendig positive Gröfsen für alle physiologisch möglichen Farbenmpfindungen sein müssen.

Es sei γ dieser Coefficient mit abweichendem Zeichen. Schreiben wir

$$-\frac{\alpha}{\gamma} = a \text{ und } -\frac{\beta}{\gamma} = b,$$

o also a und b positiv sind, so ergiebt Gleichung 10

$$\zeta = a\xi + b\eta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \} \; 10b$$

Setzen wir weiter

$$\zeta_1 = a\xi \text{ und } \zeta_2 = b\eta$$
$$\zeta = \zeta_1 + \zeta_2,$$

o können wir die Empfindung ξ mit der ihr proportionalen $\zeta_1 = a\xi$ zusammenassen in die Empfindung einer Mischfarbe von bestimmter Zusammensetzung ζ_1 und und ebenso $\zeta_2 = b\eta$ mit η. Der ganze vorhandene Farbenwerth des dichroatischen Auges erscheint dann als Mischung in veränderlichem Verhältnifs von

diesen beiden bestimmt zusammengesetzten Farben. Dadurch wäre dann auch da Aussehen der dichromatischen Farben bestimmt.

Um die besprochenen Verhältnisse in einer analytisch geometrischen Darstellun des Farbensystems anschaulich zu machen, verfahren wir am einfachsten,[1] wenn wi die Werthe der Grundfarben des trichromatischen Systems x, y, z als rechtwinklig Coordinaten eines die betreffende Farbe enthaltenden Punctes gebrauchen. Nac YOUNGs Hypothese, welche nur positive Werthe der physiologisch möglichen Farben werthe zuläfst, ist dann das System aller Farben in der rechtwinkligen positive Ecke dieses Coordinatensystems angeordnet. Als Farbentafel kann jede Eben gelten, die die drei positiven Coordinataxen schneidet, z. B. die Ebene

$$x + y + z = Const. \qquad \text{10c,}$$

in der das Farbendreieck ein gleichseitiges wird.

Unter diesen Annahmen würde die Gleichung

$$\xi = p_1 \cdot x + p_2 \cdot y + p_3 \cdot z = 0 \qquad \text{11}$$

eine Ebene darstellen, die durch den Anfangspunct der Coordinaten (die Spitz der Farbenecke) geht, aber ganz aufserhalb der positiven Ecke liegt, da bei de vorausgesetzten positiven Werthen der Coefficienten p nothwendig eine oder zwe der Coordinaten negative Werthe haben müssen, um das Trinom zu Null zu machen

Dasselbe würde gelten für die andere Gleichung

$$\eta = q_1 \cdot x + q_2 \cdot y + q_3 \cdot z = 0 \qquad \text{11a.}$$

Sollen die beiden Gleichungen gleichzeitig gelten, so würde dadurch die Schnitt linie der beiden Ebenen, beziehlich wenn wir die Gleichung der Farbentafel (10c) hinzu nehmen, der Punct, wo die Schnittlinie die Farbentafel schneidet, gegeben sein.

Setzen wir dagegen die Gleichung

$$B \cdot \xi = A \cdot \eta \qquad \text{11b}$$

oder

$$(Bp_1 - Aq_1) \cdot x + (Bp_2 - Aq_2) \cdot y + (Bp_3 - Aq_3) \cdot z = 0 \qquad \text{11c,}$$

so ist dies wieder Gleichung einer Ebene, und zwar einer solchen, welche die beide früher genannten $\xi = 0$ und $\eta = 0$ in derselben Schnittlinie schneidet, da dies beiden letzteren Gleichungen zusammen auch 11b erfüllen.

Die Gleichung 11b können wir aber auch schreiben

$$\xi : \eta = A : B$$

und mit Hülfe von Gleichung 5 ergiebt sich dann für die Puncte der Eben 10b weiter

$$\frac{\zeta}{\xi} = a + \frac{b \cdot B}{A}$$

$$\frac{\zeta}{\eta} = b + \frac{A}{B},$$

[1] S. oben, S. 336—338.

. h., die drei Farbenempfindungen haben in jeder Ebene von der Form 10*b* con-antes Verhältnifs zu einander. Die ganze Ebene ist gleichfarbig, und alle in inem dichromatischen Farbensystem gleichfarbigen Ebenen gehen urch eine gemeinsame Schnittlinie, die aber nothwendig aufserhalb oder an er Grenze der positiven Farbenecke liegt. In der nach NEWTON construirten arbentafel schneiden sich alle gleichfarbigen Linien eines dichro-atischen Systems in einem Puncte aufserhalb oder an der Grenze es trichromatischen Farbendreiecks.

Zu bemerken ist, dafs in diesem Puncte auch $\zeta = 0$ werden, also jede Licht-npfindung fehlen würde, was aber thatsächlich nur dann in Betracht kommt, wenn er Punct an der Grenze oder in einer Ecke des Farbengebietes liegt. Letzteres ürde der älteren Annahme über die Natur der Dichromasie entsprechen.

In unseren Betrachtungen ist keinerlei Beschränkung für die Lage des Schnitt-inctes gegeben. Daher fällt bei dieser Verallgemeinerung der Theorie der Dichro-asie auch die Trennung in zwei scharf getrennte Klassen Grünblinde und Roth-inde weg, welche ja auch den Beobachtungen gegenüber nicht ganz gesichert erscheint.

Damit ist auch nachgewiesen, dafs der Mangel an Übereinstimmung zwischen er fehlenden Farbe der dichromatischen Systeme und je einer der von uns ge-ndenen Grundfarben keinen unlöslichen Widerspruch einschliefst.

Die Messungen der Hrn. KÖNIG und DIETERICI haben für zwei Klassen von ichromaten die fehlenden Farben auf die von ihnen gewählten Elementarfarben , *G*, *V* zurückgeführt.

Diejenige Grundfarbe, welche normale Trichromaten mehr haben, als Roth-inde, ist von den beiden Autoren bezeichnet als:

$$\mathfrak{R} = \frac{20\,R - 3\,G + 2\,V}{19}.$$

egegen die andere, welche normale Trichromaten mehr haben, als Grünblinde, als

$$\mathfrak{G} = {}^1/_5\,R + {}^4/_5\,G,$$

Wenn wir die oben gefundenen Gleichungen (9a), in denen die Werthe von x, y, z irch R, G, V ausgedrückt waren, benutzen, um die letzteren Gröfsen durch x, y, z szudrücken, erhalten wir:

$$\begin{aligned} R &= 1{,}328\,.\,x + 2{,}278\,.\,y - 2{,}611\,.\,z \\ G &= -0{,}5122\,.\,x + 2{,}8294\,.\,y - 1{,}3249\,.\,z \\ V &= -0{,}4288\,.\,x - 1{,}4771\,.\,y + 2{,}9094\,.\,z. \end{aligned}$$

Ferner die beiden fehlenden Farben

$$\begin{aligned} \mathfrak{R} &= 1{,}434\,.\,x + 1{,}797\,.\,y - 2{,}132\,.\,z \\ \mathfrak{G} &= -0{,}1442\,.\,x + 2{,}715\,.\,y - 1{,}483\,.\,z. \end{aligned}$$

Da negative Coefficienten anzeigen, dafs die definirten Farben aufserhalb des rbendreiecks liegen, so ergiebt sich dies hiermit thatsächlich für die fehlenden

Farben beider Klassen von Dichromaten. Die fehlende Farbe der Grünblind würde zwischen den verlängerten Seiten des Farbendreiecks liegen, die sich Grün schneiden, näher dem vom Roth kommenden Schenkel, die der Rothblind aufserhalb der Roth-Grün-Linie, deren Mitte etwa gegenüber, aber ziemlich entfer

Vergleichung der Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede mit d für Farbenunterschiede.

Der kleinste erkennbare Bruchtheil für Helligkeitsunterschiede bei weifser I leuchtung in den Beobachtungen von Hrn. A. König unter ähnlichen äufseren E richtungen, ähnlicher Gröfse des Gesichtsfeldes u. s. w., wie bei den Farbenv gleichungen betrug 0,0173. Die Gleichung (8) ergiebt alsdann

$$dE_h = k \,.\, 0{,}0173 \,.\, \sqrt{3}$$

Der Werth von k mufs, wie oben bemerkt, bei den Farbenvergleichung versuchen, in denen die Rechnung vom mittleren Fehler ausgeht, 1,8238 mal grofs genommen werden, als bei den Helligkeitsvergleichungen, bei denen noch eb sichtbare Unterschiede gesucht sind. Wir erhalten daher aus den letzteren, we wir den Werth von dE hier auf dasselbe Maafs zurückführen wollen, wie es in c obigen Tafel II (S. 455) gebraucht ist.

$$dE = \frac{0{,}0173}{1{,}8238} \cdot \sqrt{3} = 0{,}01643,$$

während der aus den Werthen der Tafel II gefundene Mittelwerth ist

$$dE = 0{,}0176.$$

Diese Übereinstimmung kann unter den gegebenen Umständen wohl als ül Erwarten gut bezeichnet werden. Sie entspricht der Voraussetzung, von der v hier ausgegangen sind, dafs die Wahrnehmung der Farbenunterschiede ursprüngli auf der Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden beruht-

Eine weitere Prüfung des hier aufgestellten Gesetzes wird wohl besser dur directe Mischung je zweier Spectralfarben in verschiedenem Verhältnisse ausz führen sein, bei denen das Mischungsverhältnifs unmittelbar am Apparat abgeles werden kann, und bei denen auch mannigfachere Vergleichungen herzustellen sin als sie zwischen unmittelbar benachbarten Spectralfarben eintreten.

Die Rechnung für das dichromatische Auge hatte ich schon vor der für d trichromatische durchgeführt, aber unter der älteren einfacheren Annahme, d eine Grundempfindung ganz fehlt. Die Rechnung stimmte mit den Beobachtung etwa ebensogut oder schlecht, wie für das trichromatische Auge. Führt m die eben gegebene allgemeinere Auffassung der Dichromasie ein, so läfst die U formung der Formel schon übersehen, dafs dabei noch eine neue Constante eintri über die frei zu verfügen ist, und man wird mit deren Hülfe also jedenfalls ei bessere Übereinstimmung mit der Formel herstellen können, als mit der kleiner Zahl von Constanten. Die mühsame Rechnung in diesem noch ziemlich provisorisch Zustande unserer Kenntnisse des Gegenstandes durchzuführen, schien mir überflüssi

Kürzeste Farbenlinien. Die oben für den allgemeineren Werth von E gegebene Formel Gl (4) macht es möglich, diejenigen Reihen von Farben zwischen zwei gegebenen Endfarben zu bestimmen, längs deren man die kleinste Summe wahrnehmbarer Unterschiede durchläuft, welche Reihen also den kürzesten Linien im Farbensystem entsprechen würden. Ich werde mir erlauben, für sie den Namen der kürzesten Farbenreihen zu brauchen.

Da eine vollständig genaue Formel für die kleinsten wahrnehmbaren Helligkeitsunterschiede, wie sie annähernd FECHNERs Gesetz giebt, noch nicht gefunden ist, will ich mich auf den Gebrauch der von FECHNER selbst noch gegebenen späteren Formel beschränken, wonach die Deutlichkeit des Unterschiedes von dem Bruche $\frac{dJ}{A+J}$ abhängt, wenn J und $(J+dJ)$ die beiden zu vergleichenden objectiven Lichtmengen sind, A eine von der Qualität des Lichts abhändige Constante. Diese Formel entspricht, wie wir gesehen, den Beobachtungen in einem aufserordentlich ausgedehnten Theil der Scala der Helligkeiten. Für sehr kleine und sehr grofse Helligkeiten ist die Deutlichkeit aber etwas kleiner, als nach der Formel zu erwarten wäre.

Die von mir als wahrscheinliche Hypothese aufgestellte Formel für die Deutlichkeit des Unterschiedes zweier Farben, von denen die eine aus den Quantis der Urfarben x, y, z zusammengesetzt ist, die andere dagegen aus $(x+dx)$, $(y+dy)$, $(z+dz)$ lautet

$$dE^2 = \left(\frac{dx}{a+x}\right)^2 + \left(\frac{dy}{b+y}\right)^2 + \left(\frac{dz}{c+z}\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 12.$$

Hierbei ist aber zu bemerken, dafs die x, y, z den physiologischen Urfarben entsprechen müssen, und nicht, wie im Mischungsgesetz, durch lineare Functionen derselben ersetzt werden können.

Wenn man in Gleichung (1) andere Variabeln einführt, und setzt:

$$\left.\begin{aligned} \log(a+x) &= \xi \\ \log(b+y) &= \eta \\ \log(c+z) &= \zeta \end{aligned}\right\} \quad 12a,$$

so kann man die Gleichung (1) auch schreiben:

$$dE^2 = d\xi^2 + d\eta^2 + d\zeta^2.$$

Construirt man also eine Farbenecke, in der man nicht mehr x, y, z, sondern ξ, η, ζ als Coordinaten braucht, so wäre das dE direct proportional dem Linienelement zwischen den beiden durch ξ, η, ζ und $(\xi+d\xi)$, $(\eta+d\eta)$, $(\zeta+d\zeta)$ gegebenen Puncten. In diesem letzteren Coordinatensystem würden sämmtliche kürzeste Farbenreihen durch gerade Linien dargestellt werden müssen, die aber beim Übergang in das ursprüngliche Coordinatensystem der x, y, z im Allgemeinen gekrümmt werden würden.

Wenn wir den einen Endpunct der Farbenreihe mit dem Index (1) bezeichnen, den anderen mit (2), so würde man die Gleichung einer geraden Linie im Coordinatensystem der ξ, η, ζ auf die Form bringen hönnen:

$$\frac{\xi - \xi_1}{\xi_2 - \xi_1} = \frac{\eta - \eta_1}{\eta_2 - \eta_1} = \frac{\zeta - \zeta_1}{\zeta_2 - \zeta_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 12\mathrm{l}$$

Um die Gleichung dieser Linie in den x, y, z ausdrücken zu können, setzen w zunächst zur kürzeren Bezeichnung:

$$\left.\begin{aligned} \lambda &= \log \cdot \left[\frac{a + x_2}{a + x_1}\right] = \xi_2 - \xi_1 \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \mu &= \log \cdot \left[\frac{b + y_2}{b + y_1}\right] = \eta_2 - \eta_1 \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \nu &= \log \cdot \left[\frac{c + z_2}{c + z_1}\right] = \zeta_2 - \zeta_1 \ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \quad 12($$

Dann werden die Gleichungen (12b):

$$\left(\frac{a + x}{a + x_1}\right)^{\lambda} = \left(\frac{b + y}{b + y_1}\right)^{\mu} = \left(\frac{c + z}{c + z_1}\right)^{\nu} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 12($$

Wenn von den sechs Gröfsen, die in den Gleichungen 12c unter dem Logarithme zeichen vorkommen, nicht je zwei im Nenner, oder je zwei im Zähler gleich N werden, haben die Gröfsen λ, μ, ν endliche reelle, positive oder negative Werth und die Puncte der Linie sind eindeutig bestimmt, da ihre Coordinaten nur posit reell sein können. Da nun a, b, c (Farbencomponenten des Eigenlichts im Sin von FECHNERs Auffassung) nur positive Werthe haben können, und x, y, z f reelle Farben ebenfalls, so kommt also für reelle Farben die oben bemerkte Au nahme niemals vor, und zwischen jedem Paare von Punkten des reellen Farbe gebiets giebt es also nur eine kürzeste Farbenlinie.

Da indessen die Puncte, in denen zwei von den Gröfsen $(a + x)$, $(b + $ und $(c + z)$ gleich Null werden, eine besondere Rolle bei den Construction spielen, mache ich hier darauf aufmerksam, dafs alle drei Gröfsen, gleich Null g setzt, den Nullpunct allen Lichtes, Eigenlicht und objectives Licht zusammengenomme bezeichnen; wir wollen diesen Punct deshalb im Folgenden mit (0) bezeichne Wenn nur zwei der genannten Gröfsen gleich Null sind, sind dadurch die Parallel zu den Coordinataxen gegeben, welche durch den Punct (0) gehen. Wenn v einem Punkte dieser Linien aus kürzeste Farbenreihen nach einem anderen feste Puncte zu construiren sind, so sind diese durch ihre Endpuncte nicht vollständ gegeben, sondern können in unendlicher Anzahl construirt werden.

Ebene Curven. Eben werden Curven, für welche einer der Exponente λ, μ oder ν gleich Null ist, oder zwei derselben einander gleich.

Im ersteren Falle erhalten die drei Gröfsen, welche in (12d) einander gleic gesetzt sind, alle den Werth 1, was, wenn $\lambda = 0$, folgern läfst

$$\begin{aligned} b + y &= b + y_1 \\ c + z &= c + z_1, \end{aligned}$$

d. h. die betreffenden kürzesten Farbenreihen liegen auf geraden Linien der x-A parallel.

Die Annahme $\mu = 0$ giebt eben solche Gerade der y-Axe parallel, und $\nu = 0$ der Axe parallel. Dieselben können übrigens durch jeden Punkt der Farbenpyramide zogen werden.

Im zweiten Falle, wo zwei Exponenten einander gleich, erhalten wir tweder

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{a + x_1}{a + x_2} = \dfrac{b + y_1}{b + y_2} \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \\ \dfrac{b + y_1}{b + y_2} = \dfrac{c + z_1}{c + z_2} \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \\ \dfrac{c + z_1}{c + z_2} = \dfrac{a + x_1}{a + x_2} \ldots\ldots\ldots\ldots \end{array}\right\} \quad 12e.$$

ler

ler

Bezeichnen wir wieder den Punct, dessen Coordinaten $(-a)$, $(-b)$, $(-c)$ nd, d. h. in welchen alle Lichtempfindung fehlt, auch die des Eigenlichts, mit m Index 0, den Punct $x = y = z = 0$, wo nur die Empfindung des Eigenlichts ist, mit ε, so sagt die erste unserer Gleichungen aus, dafs die Puncte 0, 1, 2, ojicirt auf die xy-Ebene in gerader Linie liegen. Die Curve liegt also in einer bene, die der z-Axe parallel ist, und durch den Punct 0, sowie die beiden Endncte der Curve geht.

Die zweite der Gleichungen 12e würde sich auf eine Ebene beziehen, die der Axe parallel durch den Punct 0 geht, die dritte auf eine Ebene, die der y-Axe rallel durch denselben Punct geht.

Je zwei dieser Ebenen schneiden sich in geraden Linien, die dann nothendig hinreichend verlängert durch den Punct 0 gehen, und kürzesten Farbenihen entsprechen.

Dagegen werden Linien, welche gleicher Qualität des objectiven Lichts entrechen, verlängert durch den Punct ε gehen, wo $x = y = z = 0$. Nur eine von esen, die gleichzeitig durch ε und 0 geht, wird einer kürzesten Farbenreihe entsprechen.

Nun liegt es im Wesen einer kürzesten Farbenreihe, dafs unter solchen arben, die von der einen Endfarbe gleich grofsen Unterschied zeigen, die der kürzesten Farbenreihe liegenden auch der anderen Endfarbe ähnlicher s alle anderen benachbarten Farben erscheinen werden.

Fällt die Reihe der Farben gleicher Mischung mit der kürzesten Reihe isammen, so werden ihre Glieder auch beim Übergang von schwacher zu her Lichtstärke keine Abweichung des Farbentons zeigen. Wohl aber wird es der Fall sein, wenn die erstere Reihe keine kürzeste ist. Denn dann ürde es Farben geben von anderer Mischung, durch welche man einen ürzeren Übergang von den dunkelsten zu den hellsten Tönen gleicher obctiver Qualität bahnen könnte.

Nun kommen in der That solche Unterschiede vor. Ich habe schon in einen älteren Arbeiten[1] über Spectralfarben erwähnt, dafs sie bei steigender

[1] S. oben S. 284, 285 und H. HELMHOLTZ, Über Herrn D. BREWSTER's neue Analyse des Sonnenlichts. ogd. Ann. Bd. 86. S. 520. 1852.

Helligkeit alle dem Weifs, beziehlich Gelbweifs ähnlicher werden. Am schnellsten geht bei steigender Lichtstärke Grün in Gelb, Violett in Weifsblau über. Höhere Helligkeiten sind nöthig, um spectrales Roth in Gelb und Blau in Weifs überzuführen. Es giebt nur eine Farbe, nämlich Gelbweifs, welche bei allen Intensitäten merklich unverändert bleibt. Wir würden daraus zu schliefsen haben, dafs Gelbweifs dem Farbenton der geraden Linie entspricht, die durch die Puncte (0) und (ε) unseres Coordinatensystems geht. Wir wollen diese für unser hier vorliegendes Thema als die Principallinie des Farbensystems bezeichnen. Im Sinne von FECHNERS Hypothese wäre sie die Farbe des Eigenlichts der Netzhaut.

Nehmen wir dagegen eine andere Farbe, z. B. Grün, welches bei Steigerung der Intensität und unveränderter Mischung gelb wird. Offenbar müfsten wir ein gesättigteres Grün höherer Helligkeit herzustellen versuchen, um unsere Farbenreihe mit dem dem unteren Ende ähnlichsten Farbentone abzuschliefsen, d. h. wir müfsten zu einer anderen Farbenmischung übergehen, um in einer Reihe möglichst wenig unterschiedener Farbentöne zu bleiben.

Gekrümmte Projectionslinien. Wenn wir von den drei in Gleichung (2c) einander gleichgesetzten Gröfsen zwei, die nicht gleiche Exponenten haben, einander gleichsetzen, so sind die Curven verschieden, je nach dem die beiden Exponenten gleiches oder ungleiches Vorzeichen haben.

A. Curven durch den Punct 0.

Im ersteren Falle, wenn z. B. die beiden Exponenten λ und μ gleiches Zeichen haben, würde $\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)$ positiv sein, und die Curve

$$\frac{a+x}{a+x_1} = \left(\frac{b+y}{b+y_1}\right)^{\frac{\mu}{\lambda}}$$

würde durch den Punct 0 gehen, da dort $a + x = b + y = 0$ ist. Ist dabei $\frac{\mu}{\lambda} > 1$, so würde $(a+x)$ schneller steigen, als $(b+y)$ die Curve ihre convexe Seite der Linie $b + y = 0$ zukehren.

Umgekehrt ist $\frac{\mu}{\lambda} < 1$, so würde die Curve ihre convexe Seite der Linie $a + x = 0$ zukehren.

Wenn wir die Puncte (1) und (2) sehr nahe an einander liegend wählen, und ihre Abstände als kleine Gröfsen behandeln

$$x_2 - x_1 = dx$$
$$y_2 - y_1 = dy$$
$$z_2 - z_1 = dz,$$

so wird

$$\lambda = -\frac{dx}{a + x_1}$$

$$\mu = -\frac{dy}{b + y_1}$$

$$\nu = -\frac{dz}{c + z_1};$$

...hreiben wir dann

$$\frac{dx}{dy} = \operatorname{tg} \varphi$$

$$\frac{a + x_1}{b + y_1} = \operatorname{tg} f,$$

...o wird

$$\frac{\lambda}{\mu} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} f}.$$

Daraus ergibt sich, dafs $\frac{\lambda}{\mu} > 1$, wenn $\operatorname{tg} \varphi > \operatorname{tg} f$ oder $\varphi > f$, d. h. wenn im ...uncte 1 die Tangente der Curve einen gröfseren Winkel mit der positiven y-Axe ...acht, als die Gerade (0,1). Umgekehrt, wenn $\frac{\mu}{\lambda} > 1$. Der entferntere Theil ...ller dieser Curven $(1, \infty)$ ist convex, das Stück (0,1) derselben dagegen concav ...egen die Gerade (0,1).

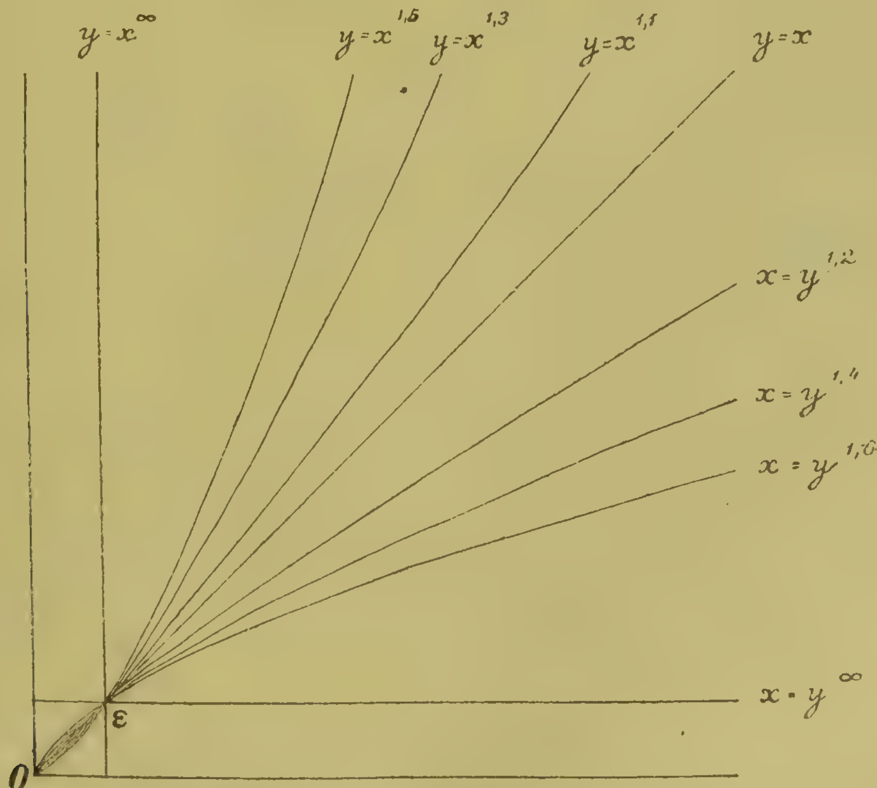


Fig. 177.

Die Grenzen dieses Büschels von Curven sind die, wo $\frac{\mu}{\lambda} = 0$ oder $= \infty$. Es sind dies die schon oben erwähnten geraden Linien, gezogen durch den Punct 1 parallel den Axen der x und der y.

Die *Fig. 177* stellt ein Bündel solcher Curven dar, welche alle durch denselben Punct ε gehen und verschiedene Exponenten haben, deren Werthe (1 bis 1,6) am Rande angegeben sind.

B. Projections-Curven mit zwei Asymptoten.

Wenn die beiden Exponenten der Gleichung entgegengesetztes Zeichen haben so können wir setzen

$$\frac{\mu}{\lambda} = -\varrho.$$

Dann ist ϱ eine positive Gröfse, und es wird

$$\frac{a+x}{a+x_1} = \left(\frac{b+y}{b+y_1}\right)^{-\varrho}.$$

Also wird für $a+x=0$ das $b+y=\infty$, und für $a+x=\infty$ das $b+y=0$ d. h. die durch den Punct 0 den Coordinataxen parallel gezogenen Linien sind Asymptoten für die Curve, welche hyperbelähnlich mit zwei Enden in das Unendliche läuft. Aber diese in ∞ auslaufenden Enden der Curven liegen aufserhalb des Farbenfeldes, selbst aufserhalb des physiologisch möglichen, da dieses durch zwei gerade Linien begrenzt ist, die parallel den x und den y durch den Punct ε gelegt sind. Das spectrale Farbenfeld ist noch enger durch einen spitzen Winkel begrenzt, dessen Scheitel ebenfalls im Puncte ε liegt, so dafs von diesen hyperbelähnlichen Curven nur sehr kurze, fast gerade Stücke für kleine Lichtintensitäten, längere und gekrümmtere nur für grofse Intensitäten in Betracht kommen.

Wenn die oben mit ϱ bezeichnete Constante den Werth $\varrho = 1$ hat, so ist die Curve eine gleichseitige Hyperbel im strengen Sinne.

Da entweder zwei oder gar keines der Verhältnisse zwischen den Exponenten negativ ist, so können entweder zwei oder keine der Projectionscurven die hyperbelähnliche Form mit zwei Asymptoten haben. Eine von ihnen oder alle drei haben die parabelähnliche Form und gehen durch den Punct (0).

Farbenunterschiede bei gleicher Qualität und verschiedener Helligkeit. Die kürzesten Farbenreihen, welche durch den Punct ε gehen, der dem Mangel alles objectiven Lichtes entspricht, geben drei parabelähnliche Projectionen, welche auch durch den Punct (0) gehen wie *Fig. 177* zeigt.

In der Mitte des Bündels liegt die als Principallinie bezeichnete Gerade, welche durch (0) und (ε) geht und die einzige Linie bildet, welche gleichzeitig einer kürzesten Farbenreihe und gleichbleibender objectiver Qualität der Farbe (gleicher Mischungsverhältnisse) entspricht.

In den drei Ebenen, welche durch diese Linie und die Coordinataxen gehen, liegen ebene Curven, welche der Principallinie ihre convexen Seiten zukehren.

Um Farben dieser Ebenen objectiv herzustellen, würde man entweder einzelne Urfarben mit der Principalfarbe zu mischen haben, oder solche Farben, die, n

er entsprechenden Urfarbe gemischt, die Principalfarbe geben. Ich will die letzren principale Gegenfarben nennen. Sind Carminroth, Ultramarinblau und Blattrün im Farbenton den Urfarben entsprechend, und Gelbweifs die Principalfarbe, so ären etwa Spangrün, Gelb und Purpur die principalen Gegenfarben. Von sämmtchen Mischungen aller sechs Farben mit dem principalen Gelbweifs würde zu erarten sein, dafs sie alle innerhalb der Reihe der Farbentöne bleiben, welche die tsprechenden Mischungen hervorbringen können, und nur das Verhältnifs würde ändert erscheinen, indem die lichtschwachen Farben dieser Art gesättigter erheinen würden, als die gleich zusammengesetzten lichtstarken, da die lichtstarken, e in derselben Farbencurve liegen, in der That sich dem Umfange der Farbenramide nähern, wo die gesättigteren Farben liegen.

So werden also lichtschwaches Ultramarin und Gelb bei gleicher Qualität und her Intensität als ein weifslicheres Blau und Gelb erscheinen müssen. Die Zuischung von Weifs zum Blau wird relativ stärker sein, als die zum Gelb, weil der lbe Bestandtheil der Principalfarbe etwas Blau wegnimmt und dafür noch etwas eifs bildet, dem Gelb aber sich einfach hinzufügt.

Dagegen werden schwaches Urroth bis Purpur einerseits und Blattgrün bis pangrün andererseits ihre entsprechenden lichtstarken Farben in etwas weifslicheren nd gelblicheren Mischungen finden.

Dieses Gelblichwerden der rothen und grünen Farbentöne bei hoher Lichtärke, das Weifswerden des Blau sind schon oben erwähnt.

Verschwinden der Zwischenfarben bei geringer Helligkeit. ie Spectralfarben sind im Allgemeinen einer Urfarbe oder Mischungen aus zweien solchen sehr nahe in ihrem Farbentone. Wenn man die letzteren uf die Ebene der beiden Urfarben projicirt denkt, so werden kürzeste arbenreihen, die in bestimmter Richtung vom Punkte (ε), dem Punkte der bjectiven Dunkelheit, auslaufen, wie in *Fig. 177*, alle convex gegen die Proection der Principallinie sein, und also im ferneren Verlaufe sich derjenigen rfarbe nähern, von der sie durch diese Projection nicht getrennt sind. s werden also lichtschwache Farben, die der Mischung zweier Urfarben ntsprechen, der auf gleicher Seite der Gegenfarbe liegenden Urfarbe sich ähern, wenn man nach den ähnlichsten gesättigteren lichtstärkeren Farben sucht.

Dies führt uns auf eine von W. von Bezold[1] und E. Brücke[2] beschriebene Erscheinung. Beide haben nämlich gefunden, dafs aus einem gut ereinigten Spectrum von mäfsiger Länge, in dem man aber die stärkeren raunhoferschen Linien noch gut sehen kann, bei allmählicher Abschwächung ie gelben und die cyanblauen Farbentöne ganz verschwinden, und dafs wischen ihnen schliefslich nur drei Farben, Roth, Grün und Violettblau, tehen bleiben. Die genannten Autoren haben damals auch schon den Schlufs ezogen, dafs die genannten drei Farben die physiologischen Grundfarben sein nüssen, indem sie diejenigen Empfindungselemente einer gemischten Empfindung, die die Reizschwelle nicht überschreiten, als unwirksam auch in

---

[1] W. v. Bezold, Über das Gesetz der Farbenmischung und die physiologischen Grundfarben. *Poggd. Ann.* Bd. 150. S. 237–239. 1873.

[2] E. Brücke, Über einige Empfindungen im Gebiete des Sehnerven. *Wiener Sitzungsbericht.* bth. III. Bd. LXXVII. 1878. Febr. 28.

der gemischten Empfindung betrachten. Es ist dies eine Betrachtungsweise die der hier eingeschlagenen wesentlich verwandt ist.

Mischungen mit Weifs. Ähnliche Abweichungen, wie die bisher besprochenen, zwischen dem Farbentone einer lichtschwachen und lichtstarken Farbe von gleicher objectiver Qualität kommen auch zwischen denen einer isolirten gesättigten Farbe und deren Mischung mit sehr vielem Weifs vor.

Wenn Weifs und eine Mischung dieses Weifs mit einer kleinen Menge einer Spectralfarbe als gegeben nach ihrem Orte in der Farbenpyramide angesehen werden, so läfst sich die kürzeste Farbenreihe, die durch die beiden Punkte führt, construiren. Diese wird gegen einen Theil der Oberfläche der Farbenpyramide hin gerichtet sein, an der die gesättigten Farben derselben Reihe liegen, als deren stark mit Weifs verdünnte Modification die gegebene Mischung erscheint.

Dabei ist zu bemerken, dafs, wenn man zu dem Weifs reine Urfarben hinzumischen könnte, die Verbindungslinie beider eine der entsprechenden Coordinataxe parallele Gerade werden würde, welche selbst eine kürzeste Farbenreihe ist und ihre Richtung nicht ändert. Die kürzeste Farbenreihe würde also mit der Mischungsreihe zusammenfallen und keinerlei Farbenänderung entstehen.

Da aber die Spectralfarben als zusammengesetzte Farben anzusehen sind, in denen nur eine oder zwei der Urfarben erhebliches Übergewicht haben, so werden dadurch Krümmungen der kürzesten Farbenreihen möglich.

Um die Form der betreffenden Farbenreihe vollständig übersehen zu können, wird man sich im Allgemeinen je zwei Projectionen auf Grenzflächen der Farbenpyramide entwerfen müssen.

Das Curvenbündel der *Fig. 177* würde auch bei etwas abgeänderten Verhältnissen seinen Charakter behalten. Deuten wir es jetzt so, dafs wir den Punct ε als die Projection des Weifs auf eine der Coordinatebenen betrachten; εx sei die Coordinatrichtung für die eine Grundfarbe, die zum Weifs hinzugethan werden kann, εy für die andere. Beide Linien entsprechen kürzesten Farbenreihen. Dann wird noch die mit $y = x$ bezeichnete Gerade sehr nahehin wenigstens eine kürzeste Farbenlinie sein. Die Gleichung der letzteren, die in diese Richtung fällt, würde allerdings, streng genommen, nicht $x = y$, sondern $a + x = b + y$ sein. Wenn aber die Coordinaten des Weifs so grofs sind, dafs die des Eigenlichts a, b dagegen verschwinden, wird der Unterschied unerheblich.

Nun sieht man, dafs alle Curven, welche zwischen εx und $y = x$ liegen, concav gegen x, die anderen concav gegen y sind. Verfolgt man sie von ε aus, so nähern sie sich im Fortlauf der näheren Grundfarbe und weisen auf gesättigtere Abstufungen von dieser hin. Wenn wir also die Art der eingemischten Farbe nach den ähnlichsten, vom Weifs weniger überdeckten Farbentönen beurtheilen, werden wir die Einmischung der reinen Urfarbe ähnlicher halten.

---

[1] Auch schon von W. v. Bezold erwähnt. *Pogg. Ann.* Bd. 150. S. 245. 1873.

Spectrales Roth kann nach meinen neueren Bestimmungen als Urroth iit überwiegend grünlicher Einmischung betrachtet werden. In der Mischung iit Weifs würde das Grünliche mehr zurücktreten, die Farbe dem Urroth äher, also mehr rosenroth erscheinen, was in der That der Fall ist und hon früher von Hrn. E. Hering bemerkt worden ist.

Violett, was aus gleichen Quantis Urroth und Urblau zusammengesetzt äre, würde in der Projection auf die Blauroth-Ebene mit der Projection es Weifs fast dieselbe Richtung haben, und seine kürzeste Farbenreihe st geradlinig sein. Es käme bei spectralem Violett nur in Betracht, dafs s noch eine Einmischung von Grün hat, die in der Grünroth-Ebene, wie in er Grünblau-Ebene gegen das überwiegende Roth, bezüglich Blau mit teigender Entfernung vom Weifs schwinden würde. Dadurch würde die Farbe em Complement des Grün, dem Rosenroth ähnlicher gemacht.

Geht man zu bläulicheren violetten Einmischungen über, so würde neben em stärkeren Blau der rothe Bestandtheil des Violett zu schwinden anfangen, as anfangs noch durch das stärkere Schwinden des Grüns compensirt würde. ch fand, dafs zwischen $\lambda = 450\,\mu\mu$ bis $\lambda = 430\,\mu\mu$ der Zusatz des spectralen lau dem Weifs eine ziemlich deutlich rosenrothe Färbung gab; erst bei $= 470\,\mu\mu$ schwand dieser röthliche Ton.

Farbenunterschiede schwächsten Lichtes. So wie bei hohen ichtstärken die Farbenunterschiede schwächer werden und zum Theil verchwinden, findet dasselbe auch bei schwächstem Licht statt. Ich habe chon erwähnt, dafs bei allmäliger Abnahme der Lichtstärke zuerst die wischenfarben im Spectrum schwinden, Gelb und Grünblau, und der von nen eingenommene Raum zwischen Roth, Grün und Violettblau sich theilt. ei weiterer Abnahme tritt an Stelle der letzteren Rothbraun, Olivenbraun nd Blaugrau; endlich schwinden alle Farbenunterschiede, am spätesten das oth,[1] und alles schwächste Licht wird, so lange es überhaupt noch wahrenommen werden kann, gleichmäfsig grau gesehen.

In absolut dunkler Umgebung sieht man deshalb auch ein sehr lichtchwaches Spectrum als einen schwachen Lichtstreifen ohne Farbenunterchiede, und zwar liegt nach den in dieser Beziehung übereinstimmenden ersuchen von F. Hillebrand[2] und A. König[3] das Maximum der Helligkeit ei $\lambda = 535\,\mu\mu$ im Grün. Auch schliefsen sich einige von den Curven der onochromatischen Augen derselben Helligkeitscurve ziemlich gut an.

Auch das erste schwache Licht, was ein erglühender Körper in ganz unklem Raume zuerst ausgiebt, erscheint nach Versuchen von Fr. Weber[4] rau, „düsternebelgrau", nach des Autors Benennung, bei steigender Tempe-

---

[1] Doves Angabe, dafs Blau zuletzt schwinde, bezieht sich auf gleichmäfsige Abnahme des objecven Lichts, und ist durch Purkinjes Phänomen bedingt.

[2] F. Hillebrand (in E. Herings Laboratorium angestellte Versuche) in *Sitzungsber. der Wiener kademie.* Bd. 98. Sitzung vom 21. Febr. 1889.

[3] A. König, Über den Helligkeitswerth der Spectralfarben. *Festschrift für H. v. Helmholtz.* amburg 1891. S. 357. Tafel VI.

[4] Fr. Weber, Die Entwicklung der Lichtemission glühender fester Körper. *Sitzungsber. d. Akad. d. issensch. zu Berlin* 1887. 9. Juni.

ratur „aschgrau“, endlich gelblichgrau, und zwar ist es das Gelbgrün des Spectrum, was so zuerst sichtbar wird. Platin sendet diese Strahlen aus schon bei etwa 391° C., Gold bei 413°, oxydirtes Eisen bei 377°, während deutliche Rothgluth erst bei 525° nach Drapers Messung erreicht wird. Dann reicht aber das Spectrum schon vom Roth der Fraunhoferschen Linie *B*, bis zum Grün von *b*. Dafs das Gelbgrün zuerst sichtbar wird, ist wohl der gröfseren Empfindlichkeit des Auges für diese Strahlengattung zu zuschreiben, während das Blau des Spectrum bei diesen niederen Temperaturen noch zu geringe Intensität hat, um sich merklich zu machen.

Ähnliche Beobachtungen kann man an den sogenannten phosphorescirenden Wolken machen, die zuweilen bei sehr klarem Himmel im Hochsommer um Mitternacht im Norden sichtbar werden[1] und aufserordentlich hoch liegende Wölkchen zu sein scheinen, die noch Dämmerungslicht von der unter dem Horizont stehenden Sonne haben. Sie erscheinen graugrün; ihr Licht wird durch ein rothes Glas ausgelöscht, während andere von fernem Gaslicht ebenso hell beleuchtete Objecte durch das rothe Glas sichtbar bleiben. Gaslicht enthält also mehr rothe Strahlen, als das der phosphorescirenden Wolken, obgleich auch das letztere wahrscheinlich Dämmerungslicht der auch für sie noch unter dem Horizont stehenden Sonne ist.

Die Erklärung dieser Erscheinungen ergiebt sich aus den zuletzt gegebenen Beziehungen der Spectralfarben zu den Urfarben. Jede Spectralfarbe erregt sämmtliche drei Urfarben in mäfsigen Stärken. Licht unterscheiden wir, wenn wir die gesammte vorhandene Lichtmasse von dunkel unterscheiden können, d. h. wenn die einzelnen Reize die Reizschwelle übertreten. Um Farben zu unterscheiden, müssen wir kleinere Mengen der Urfarben im einen Gemisch von gröfseren im anderen unterscheiden. So ist z. B. nach den Rechnungen von S. 461 enthalten:

	Im spectralen Roth	Im spectralen Violett	Im Weifs
Urroth	0,6093	0,3528	0,3333
Urgrün	0,1998	0,2498	0,3333
Urblau	0,1913	0,3973	0,3333

Aus den S. 405—408 und S. 415 gegebenen Werthen aus A. Königs Beobachtungen folgt, dafs die Helligkeiten, bei denen die gröfsere Helligkeit von 0,6 derselben unterschieden werden kann, 8 bis 20 mal so grofs sind als die Reizschwellen. Das erstgenannte Verhältnifs aber müfste von 1 unterschieden werden können, wenn spectrales Roth der betreffenden Lichtstärke von Weifs unterschieden werden sollte. Bei den anderen Farben sind die Verhältnisse noch näher an 1 und schwerer von 1 zu unterscheiden.

[1] In den letzten Jahren vermuthlich durch Reste des Krakatoastaubs begünstigt.

Ich habe in diesem Abschnitte die Voraussetzung festgehalten, dafs NEWTONS rbengesetz streng richtig ist. Dafs E. BRODHUN[1] Thatsachen entdeckt hat, die nderungen in den Verhältnissen der Farbenwerthe der Spectralfarben bei wechselnder chtstärke anzeigen, habe ich auf S. 375 und 376 schon angeführt. Es schien ch zweifelhaft, ob man dies nicht als Besonderheit seines dichromatischen Auges sehen müsse. Neuerdings hat aber auch Herr A. KÖNIG[2] an seinem normalen chromatischen Auge solche Versuche bis zu sehr viel gröfseren Unterschieden r Lichtstärken ausgedehnt, und ähnliche ziemlich weit gehende Änderungen geden. Ich habe mich selbst von der Richtigkeit überzeugt. Daraus folgt wohl n, dafs auch NEWTONS Gesetz nur für mittlere Lichtstärken annähernd richtig ist, cht für zu kleine.

Ältere Methoden der Photometrie. BOUGUER[3] liefs zwei weifse Flächen 328
rch die zu vergleichenden Lichter beleuchten, stellte sich so, dafs er sie beide perspecisch neben einander sah und veränderte dann die Entfernung der einen weifsen Fläche m Licht so lange, bis die Erleuchtung gleich wurde. LAMBERT[4], der in seinem behmten Werke Photometria das erste vollständige System dieser Wissenschaft mit grofsem harfsinn entwickelte, wendete neben anderen für specielle Fälle bestimmten Methoden mentlich das Princip der zwei Schatten an, was oben schon erwähnt ist. Dasselbe erfahren wendet auch RUMFORD[5] in dem nach ihm benannten Photometer an.

Um die Stellung des Beobachters bequemer zu machen, wendete POTTER[6] statt der ei weifsen undurchsichtigen Flächen von BOUGUERS Photometer zwei transparente , und RITCHIE[7] fügte noch zwei unter 45° geneigte Spiegel hinzu, welche das Licht f die weifsen Flächen warfen und erlaubten die Lichtquellen nach entgegengesetzten ichtungen hin aufzustellen. J. HERSCHEL[8] hob hervor, dafs die Bedingung inniger Be- 329
ihrung der zu vergleichenden Flächen in RITCHIES Photometer erfüllt sei, und dadurch e Genauigkeit zunehme. PERNOT[9] modificirte das Verfahren von POTTER dadurch, dafs die beiden transparent beleuchteten Flächen noch von der entgegengesetzten Seite rch ein drittes Licht beleuchtet, welches er allmählich näher bringt. Sind jene beiden eich, so müssen sie gleichzeitig verschwinden. In BUNSENS oben erwähntem Photometer ird eine Papierfläche, die zum Theil mit Stearin getränkt ist, von vorn und von hinten eleuchtet. Ist das hintere Licht schwach, so erscheint der transparente Fleck dunkel, t es zu stark, hell.

Die Absorption der Lichtstrahlen benutzte DE MAISTRE[10] zur Schwächung, indem er ein risma von blauem Glase mit einem gleichen von weifsem Glase so zusammenlegte, dafs ie äufseren Begrenzungsflächen parallel wurden und das Licht ungebrochen durchging, ber an verschiedenen Stellen des Doppelprisma verschieden stark absorbirt wurde. hnlich benutzte QUETELET[11] zwei Prismen aus blauem Glase, die, verschieden gegen einnder verschoben, eine planparallele Platte von veränderlicher Dicke bildeten. Durch ie hierbei angewendeten blauen Glasplatten wird aber die Farbe des hindurchgehenden ichtes verändert, und dafs bei der Vergleichung verschiedenfarbigen Lichts keine genaue essung möglich sei, ist schon erwähnt worden. Noch mifslicher sind zwei andere nstrumente, bei welchen nicht zwei verschiedene Lichter verglichen, sondern absolute

[1] A. KÖNIG, Über NEWTONS Gesetz der Farbenmischung und darauf bezügliche Versuche des rn. EUGEN BRODHUN. *Sitzungsber. der Akad. zu Berlin.* 31. März 1887. S. 311.

[2] Nach mündlicher Mittheilung.

[3] BOUGUER, *Essai d'optique* 1729. 12°. *Traité d'optique sur la gradation de la lumière.* Paris 1760. atein. Übersetzung. Wien 1762.

[4] LAMBERT. *Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae.* Augustae Vindelic. 1760.

[5] RUMFORD, *Philos. Transactions* LXXXIV. p. 67.

[6] POTTER, *Edinburgh Journal of Science.* New. Ser. III. 284.

[7] RITCHIE, *Annals of Philosophy.* Ser. III. Vol. I. 174.

[8] J. HERSCHEL, *On light.* p. 29.

[9] PERNOT, *Dinglers polyt. Journ.* CXIX. 155. *Moniteur industr.* 1850. Nr. 1509.

[10] DE MAISTRE, *Bibl. univ. de Genève.* LI. 323. *Pogg. Ann.* XXIX. 187.

[11] QUETELET, *Bibl. univ. de Genève.* LII. 212. **Pogg. Ann.* XXIX. 187—189.

Lichtstärken dadurch bestimmt werden sollen, dafs sie bei bestimmter Gröfse de Absorption ganz verschwinden. Das eine ist von Lampadius[1] vorgeschlagen. Er sie durch eine Anzahl dünner Hornblätter nach dem hellen Gegenstande und vermehrt si so lange, bis das Objekt eben verschwindet. de Limencey und Segretan[2] brauchten sta der Hornblätter Papierscheiben. Das andere ist das von einem Ungenannten[3] vorge schlagene Lamprotometer, um die Helligkeit des Tages zu messen. Es wird dab bestimmt, wie starke Lackmustinctur man nehmen müsse, damit ein vom Tageslicht b leuchteter Platindrath, durch ein mit der Tinctur gefülltes Glas gesehen, verschwind Die Grenze der Empfindlichkeit des Auges für Licht ist doch zu unbestimmt, als da bei solchen Messungen nicht Irrungen um das Dreifache oder mehr der gemessene Gröfse eintreten sollten. Auf demselben Princip beruht ein Photometer von Albert und eines von Pitter.[5]

Dagegen waren es zwei andere Wege, auf denen allmählich die vollendeteren Me thoden, welche jetzt üblich sind, sich entwickelten. Der eine dieser Wege hat Bestimmun der Helligkeit der Sterne zum Ziel. J. Herschel schwächte das Licht des helleren Stern indem er die Apertur des Fernrohrs, welches auf ihn gerichtet war, durch ein vorge setztes Diaphragma verkleinerte. Dasselbe Princip liegt auch A. v. Humboldts Astromete zu Grunde. Dies ist ein Spiegelsextant von gewöhnlicher Einrichtung. Das Fernrohr de Instruments ist bekanntlich auf einen halb belegten, halb unbelegten Spiegel gerichte
330 und sieht den einen Stern durch den unbelegten Theil, den anderen durch den belegte und einen zweiten Spiegel. Indem man das Fernrohr senkrecht gegen die Trennung linie des belegten und unbelegten Theils verschiebt, kann man mehr Strahlen von de einen oder anderen bekommen und so die Bilder zweier Sterne, oder die beiden Bilde eines Sterns, nach Belieben gleich oder ungleich machen und ihre Lichtstärke vergleiche Das Verfahren von Humboldt hat den Vortheil, dafs die beiden Sterne, welche vergliche werden sollen, dicht neben einander im Gesichtsfelde desselben Fernrohrs erscheinen. Di Vergleichung so intensiver kleiner Lichtpuncte ist aber schwerer, als die Vergleichun heller Flächen. Diesem Mangel wird durch das Objectiv-Photometer von Steinheil[6] al geholfen. Es ist dies ein Teleskop, dessen Objektivglas halbirt ist. Vor jeder Hälft des Objectivs befindet sich ein rechtwinkliges Glasprisma als Spiegel. Das Ganze wir so gestellt, dafs die eine Hälfte des Objectivs dem Beobachter den einen, die andere de anderen der zu vergleichenden Sterne zeigt. Dann werden die beiden Hälften de Objectivs einzeln hinausgeschoben, so dafs nicht mehr deutliche Bilder, sondern Ze streuungsbilder der beiden Sterne entstehen, welche desto lichtschwächer werden, j gröfser man sie macht, d. h. je weiter man die entsprechende Hälfte des Objectivs hinau schiebt. Jede solche Hälfte ist mit einem rechteckigen Diaphragma versehen, welche mit anderen von anderer Gröfse vertauscht werden kann. Die beiden Bilder der Stern erscheinen nach richtiger Einstellung als zwei dicht an einander grenzende nahe gleic grofse Rechtecke von gleicher Helligkeit, also unter den günstigsten Bedingungen, u kleine Unterschiede der Helligkeit zu erkennen. Durch dieses Instrument sind zuer genaue Lichtmessungen an Fixsternen und Planeten möglich geworden. Schwerd[7] da gegen benutzte die Diffraction, welche durch enge kreisförmige Diaphragmen entsteh um helle Flächen hervorzubringen.

Für die physikalischen Untersuchungen dagegen, wobei es sich darum handelt, z bestimmen, wie viel Licht bei Refractionen, Reflexionen und anderen Vorgängen verlore gegangen ist, hat man mit Vortheil das stärkere Licht durch Brechung und Zurückwerfun

---

[1] Lampadius, *Gehlers Wörterbuch.* 2. Auflage. VII. 482.

[2] de Limencey, und Segretan, *Cosmos.* VIII. 174; *Polyt. Centralblatt* 1856. 570: *Dinglers poly Journ.* CXLI. 73.

[3] *Pogg. Ann.* XXIX. 490.

[4] Albert, *Dinglers polyt. Journ.* C. 20 und Cl. 342.

[5] Pitter, *Mechanics Magazine.* XLVI. 291.

[6] Steinheil, *Pogg. Ann.* XXXIV. 646. — *Denkschriften der Münchner Akad.* Math.-phys. Klasse Bd. II. 1836. — Ähnlich die Methode von Johnson. *Cosmos.* III. 301—305.

[7] Schwerd, *Bericht über die Naturforscherversammlung* 1858.

unbelegten Glastafeln geschwächt. BREWSTER[1] und QUETELET[2] brauchten mehrfache
ie senkrechte Reflexionen, um starkes Licht mit schwachem vergleichbar zu machen;
bis 29 solche Reflexionen verlöschen z. B. das Sonnenlicht. DUWE[3] benutzte ebenso
Reflexionen an schwarzen Glastafeln, wie sie zu Polarisationsapparaten gebraucht
rden. Die verschieden starke Reflexion bei wechselndem Einfallswinkel benutzte
TTER.[4] Lichtquelle ist ihm ein halbcylindrisch geformter weifser Schirm, dessen gleich-
ifsige Beleuchtung man voraussetzen mufs, die aber schwer zu erreichen sein wird.
e geschickteste Ausführung hat dies Princip in dem Photometer von ARAGO erhalten
d ist dadurch zur Ausführung sehr genauer Messungen der Lichtstärke brauchbar
worden.[5] Die Lichtquelle dieses Photometers ist ein transparenter, ebener, senkrecht
hender Papierschirm, der am Fenster steht und in allen seinen Theilen gleichmäfsig
euchtet sein mufs, was sich übrigens durch das Instrument selbst controlliren läfst.
nkrecht gegen den Schirm und gegen den Horizont ist ferner aufgestellt eine plan-
rallele Glasplatte, unter deren Mitte sich ein Zapfen befindet, um welchen als Axe ein
hr in einer horizontalen Ebene drehbar ist. Das Rohr ist horizontal gegen die Mitte
r Platte gerichtet, und der Beobachter, welcher durch das Rohr sieht, erblickt theils
rch die Platte einen Theil des Papierschirms, theils in ihr gespiegelt einen anderen
eil dieses Schirms. Rechts und links von der Glasplatte, zwischen ihr und dem Schirm,
d horizontal und in etwas verschiedener Höhe schwarze Stäbe angebracht, die dicht
ben einander theils durch die Platte, theils von ihr gespiegelt gesehen werden. Wo
r gespiegelte schwarze Stab erscheint, sieht der Beobachter das durchgelassene Licht
s weifsen Schirms allein; wo der schwarze Stab im durchgelassenen Licht erscheint,
ht der Beobachter das gespiegelte Licht des weifsen Schirms. Die Röhre wird nun so 331
stellt, dafs die beiden schwarzen Streifen gleich hell erscheinen, und der Winkel, unter
m die Röhre gegen die Glasplatte gerichtet ist, wird durch eine passend angebrachte
eilung gemessen. Man kann nun das einfallende oder das gespiegelte Licht allerlei anderen
nwirkungen unterwerfen und wird dann im Allgemeinen einen anderen Winkel er-
lten, unter dem gesehen die beiden Bilder gleich hell erscheinen. Um aus diesem
inkel die stattfindende Schwächung des Lichts berechnen zu können, mufs vorher
pirisch bestimmt sein, wie sich bei den verschiedenen Einfallswinkeln die durch-
lassenen zu den gespiegelten Lichtmengen verhalten, wofür ARAGO ein besonderes Ver-
ren vorgeschlagen hat, welches darauf beruht, dafs die beiden Strahlenbündel, welche
doppelt brechender Krystall giebt, gleich stark und jeder einzelne halb so stark sind,
s der ungetrennte Strahl. Indem er so eines der beiden Strahlenbündel durch Doppel-
echung halbirt oder viertheilt, kann er die Stellungen ermitteln, wo das durchgelassene
cht das Viertel, die Hälfte, das Doppelte, das Vierfache des zurückgeworfenen ist und
hliefslich durch Interpolation die betreffenden Verhältnisse auch für alle zwischen-
genden Winkel bestimmen.

ARAGO hatte noch ein anderes Princip zur Schwächung des Lichts vorgeschlagen,
imlich die Polarisation in doppeltbrechenden Krystallen zu benutzen. Läfst man voll-
ändig polarisirtes Licht vor der Intensität I in einen solchen Krystall eintreten, und
ldet die Polarisationsebene des Lichts mit dem entsprechenden Hauptschnitte des Krystalls
nen Winkel φ, so erhält man durch die doppelte Brechung zwei Bündel, deren Intensität
eziehlich $I \cos^2\varphi$ und $I \sin^2\varphi$ ist. Kann man den Winkel φ messen, so ist dadurch
so auch unmittelbar das Verhältnifs der Lichtstärke der gebrochenen Bündel gegeben.
ie NICOLschen Prismen eliminiren das eine Bündel ganz und lassen nur das andere bestehen.
ierauf beruht das Photometer von F. BERNARD.[7] Die beiden zu vergleichenden Strahlen

[1] BREWSTER, *Edinburgh Transactions.* 1815.
[2] QUETELET, *Bibl. univ. de Genève.* LII. 212 *Pogg. Ann.* XXIX. 187—189.
[3] DUWE, *Pogg. Ann.* XXIX. 190 Anm.
[4] POTTER, *Edinburgh Journal of Science.* New. Ser. IV. 50 und 320. — *Pogg. Ann.* XXIX. 487.
[5] *Oeuvres de* FR. ARAGO X. p. 184—224.
[7] F. BERNARD, *Annales de Chemie.* (3) XXXV. 385—438. *Cosmos.* II. 496—497 und 636—639. C. R.
XXVI. 728—731.

werden parallel zu einander, jeder durch zwei drehbare Nicol'sche Prismen, geleitet und dann durch totale Reflexion in einem rechtwinkligen Glasprisma parallel und dicht neben einander in das Auge des Beobachters gelenkt, der ihre Intensität gleich zu machen sucht dadurch, dafs er die Hauptschnitte der beiden Nicol'schen Prismen, durch welche der stärkere Strahl geht, unter einem passenden Winkel gegen einander stellt. Stammt das zu vergleichende Licht aus derselben Lichtquelle her, so kann man die beiden ersten Nicol'schen Prismen weglassen, und an ihrer Stelle ein doppeltbrechendes Prisma gebrauchen, welches das Licht der Quelle in zwei gleiche, verschieden polarisirte Hälften spaltet. Sehr ähnlich im Princip ist das Photometer von Beer.[1] Die beiden Strahlenbündel kommen horizontal von rechts und links zum Instrumente, gehen jeder durch ein Nicol'sches Prisma, werden durch einen stählernen Doppelspiegel, der zwei unter 45° gegen den Horizont geneigte spiegelnde Flächen hat, vertical gemacht und fallen durch einen dritten Nicol in das Auge des Beobachters. Dieser sieht vor sich ein kreisförmiges Feld, dessen rechte und linke Hälfte den beiden reflectirenden Flächen des Doppelspiegels entsprechen, und kann durch Drehung der Nicols die beiden Felder gleich hell machen. Ähnlich ist auch das Photometer von Zöllner.[2]

Babinet[3] hat zur Vergleichung der Lichtstärke zweier Strahlenbündel polarisirten Lichts ein Mittel benutzt, welches die Vergleichung ihrer Stärke ungemein erleichtert. Sein Photometer ist zunächst bestimmt, die Helligkeit von Gasflammen zu vergleichen. Eine Röhre läuft in zwei Schenkel aus, von denen der eine die Verlängerung der Röhre bildet, während der andere mit dieser einen Winkel von 70° einschliefst. Beide sind durch mattgeschliffene Glastafeln geschlossen. Am Scheitel des Winkels wird die Röhre von einem Satz Glasplatten durchsetzt, welcher den Winkel halbirt. Werden nun vor die beiden Röhrenenden Lichtquellen gesetzt, so tritt das Licht der einen Quelle in das gemeinsame Röhrenstück, nachdem es von dem Glassatz durchgelassen und senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirt ist, und das Licht der anderen Quelle, nachdem es
332 reflectirt, und in der Einfallsebene polarisirt ist. Das gemeinsame Röhrenstück ist durch ein Soleil'sches Polariskop geschlossen. So lange die beiden senkrecht gegen einander polarisirten Lichtmengen ungleiche Intensität haben, sieht man vier complementär gefärbte Halbkreise. Die Farben verschwinden, wenn man beide Lichtmengen dadurch gleich macht, dafs man die Entfernung der Flammen verändert. In diesem Instrumente ist also die Vergleichung der Lichtstärke für das Auge zurückgeführt auf die Vergleichung der Farben benachbarter Flächen.

Im Princip ähnlich ist das auf einer Idee von Neumann beruhende Photometer von Wild,[4] aber durch die Abänderung des physiologischen Theils des Apparates ist in diesem Instrumente ein hoher Grad von Empfindlichkeit erreicht. Die beiden zu vergleichenden Strahlen fallen parallel mit einander auf das Instrument und werden schliefslich zur Deckung gebracht, indem der eine unter dem Polarisationswinkel erst von einer Glasplatte A und dann von einem ihr parallelen Satze von Glasplatten B reflectirt und vollständig polarisirt wird, während der andere Strahl durch den Glassatz B hindurchgeht. Ehe dieser zweite Strahl jedoch unter dem Polarisationswinkel auf den Glassatz B trifft, ist er schon durch einen eben solchen Glassatz C hindurchgegangen. Der Glassatz C ist um eine Axe drehbar, so dafs der Strahl ihn unter verschiedenen genau mefsbaren Winkeln passiren kann, wodurch die Menge des durchgelassenen Lichts und das Verhältnifs seiner Polarisation geändert wird. Übrigens ist der Glassatz C so gestellt, dafs die Polarisation, die der Strahl in ihm erhält, entgegengesetzt ist derjenigen, welche ihm der Glassatz B mittheilen würde. Lassen wir den zweiten Strahl senkrecht durch C gehen, so fällt er unpolarisirt auf B und wird hier entgegengesetzt dem ersten reflectirten Strahle polarisirt, mit dem er übrigens von da ab auf demselben Wege vereinigt weiter geht. Wird

[1] Beer, *Pogg. Ann.* LXXXVI. 78–88.
[2] Zöllner, *Photometrische Untersuchungen.* Dissertat. Basel 1859.
[3] Babinet, C. R. XXXVII. 774.
[4] Wild, *Pogg. Ann.* XCIX. 235.

hr und mehr geneigt, so nimmt die Menge polarisirten Lichts im zweiten Strahle mehr
l mehr ab, und zwar in einem Verhältnisse, welches man nach Messung des Einfalls-
nkels berechnen kann. Mit dem vollständig polarisirten ersten Strahle wird also eine
iable Menge theils entgegengesetzt polarisirten, theils natürlichen Lichts des zweiten
ahls gemischt. Dieses gemischte Licht geht nun schliefslich durch eine senkrecht zur
e geschnittene Kalkspathplatte und einen Turmalin. Ist die Menge polarisirten Lichts
beiden Strahlen gleich grofs, so sieht der Beobachter nichts von dem Kreuz mit Ringen
der Kalkspathplatte, wohl aber wird dieses Kreuz sichtbar, sobald die Mengen polari-
ten Lichts in beiden Strahlen nicht gleich grofs sind. Die Empfindlichkeit des Auges
Erkennen der Polarisationsfigur des Krystalls zeigte sich aufserordentlich grofs, so
fs bei wiederholten Einstellungen das Verhältnifs der Intensitäten sich nur um ein $^1/_{200}$
schieden fand. Eine noch gröfsere Genauigkeit hat Wild[1] in seinem neueren Photometer
eicht, wo er statt der polarisirten Glasplatten doppeltbrechende Krystalle und als
lariskop zwei gekreuzte Bergkrystallplatten benutzte, welche unter 45° gegen die Axe
schnitten sind. Durch Linsen sind die Strahlen, die hindurchgehen, parallel gemacht.
rgleichen Platten zeigen ein geradliniges Fransensystem, von dem bei passender Ein-
llung des Apparates nur ein Querstreifen ausgelöscht wird, während zu beiden Seiten
Farben complementär sind. Der Beobachter kann sehr genau auf die Mitte der
sgelöschten Fransen das Fadenkreuz einstellen. Nach Wilds Angaben beträgt der
hler bei einmaliger Einstellung nur zwischen 0,001 und 0,002 der Lichtstärke.

Schon Talbot[2] hat zur Schwächung des Lichts eine rotirende Scheibe mit schwarzen und
rchsichtigen Sectoren angewendet, und dieses Mittel ist auch von Babinet und Secchi[3]
Messungen der Sternhelligkeiten, später von Aubert (s. § 22) angewendet worden.

Von Pouillet[4] ist zur Erleichterung des physiologischen Theils der photometrischen
ethoden vorgeschlagen worden, Lichtbilder zu gebrauchen, die nach Daguerres Verfahren
f polirten Silberplatten ausgeführt sind. Um ein solches Bild positiv zu sehen, mufs 333
von der Seite beleuchtet sein, der Beobachter aber mufs so stehen, dafs er irgend
nen dunklen Körper, aber nicht das einfallende Licht von der Platte gespiegelt erblickt.
blickt er im Gegentheil einen sehr hellen Körper von der Platte gespiegelt, so erscheint
s Bild negativ, was hell sein sollte, dunkel, und umgekehrt. Dazwischen aber giebt
eine gewisse Helligkeit der gespiegelten Fläche, bei welcher das Bild ganz verschwindet,
ährend es bei der geringsten Vermehrung oder Verminderung der Helligkeit positiv
ler negativ auftaucht.

Ein von den bisherigen ganz abweichendes physiologisches Princip der Photometrie
t Schafhäutl[5] benutzt, für dessen Richtigkeit er aber bisher den Beweis noch schuldig
blieben ist. Er behauptet, das Zeitintervall, welches zwischen zwei gleichartigen Licht-
ndrücken verfliefsen kann, ohne dafs das Auge die Unterbrechung bemerkt, sei propor-
onal der Wurzel aus der Intensität des Lichts. Sein Apparat besteht aus einer Stahl-
der, die an ihrem unteren Ende so eingeklemmt ist, dafs sie in ihrer Gleichgewichts-
ge vertical steht. An ihrem oberen Ende trägt sie einen rechtwinkligen Schirm von
innem geschwärzten Kupferblech, der in der Mitte von einer rechteckigen Öffnung
rchbrochen ist. Durch eine horizontale, von zwei Dioptern geschlossene Röhre sieht
er Beobachter auf den Schirm, welchen die Feder trägt; dahinter ist die Lichtquelle so
fgestellt, dafs ihr Licht nur dann in das Auge des Beobachters dringen kann, wenn
er Schlitz des Schirms in der Axe der Diopterröhre sich befindet. Die Feder wird so
nge verkürzt, bis das Bild der Lichtquelle nicht mehr zitternd, sondern ruhig erscheint.

---

[1] Wild, *Mitth. der bernischen naturf. Ges.* 1859. No. 427—429.

[2] Talbot, *Pogg. Ann.* XXXV. 457. 464. *Phil. Magaz.* Nov. 1834. p. 327. Darüber Plateau in *ullet. de l'Acad. de Bruxelles.* 1835. p. 52.

[3] Babinet und Sechi, *Arch. d. sc. phys. de Genève.* XX. 121—122. *Memorie dell' osservatorio di Roma. osmos.* I. 43.

[4] Pouillet, C. R. XXXV. 373—379. *Pogg. Ann.* LXXXVII. 490—498. *Inst.* 1852. p. 301. *Cosmos.* 546—549.

[5] Schafhäutl, Abbildung und Beschreibung des Universal-Vibrations-Photometer. *Münchner bhandl.* VII. 465—497.

Die Lichtintensitäten sollen den Quadraten der Schwingungszeiten (umgekehrt?) proportional sein, oder den vierten Potenzen der Federlängen. Selbst wenn wir die erstere Proportionalität zugeben wollten, würde die letztere bei einer schwingenden belasteten Feder nicht zutreffen.

Endlich ist hier noch die Methode zu erwähnen, welche Fraunhofer[1] gebraucht hat, um die Lichtstärke der verschiedenen Farben des Spectrum von Glasprismen unter einander zu vergleichen. Das Spectrum, wurde wie gewöhnlich, durch ein Fernrohr beobachtet, vor dessen Objectiv *A* (*Fig. 178*) ein Prisma *P* gesetzt ist. *B* ist die Ocularlinse. Innerhalb der Ocularröhre ist 45° gegen die Axe des Fernrohrs geneigt, ein kleiner Stahlspiegel *s* befestigt, dessen eine scharfe Kante in der Brennebene des Oculars liegt und die Fernrohraxe schneidet. In der vom Spiege nicht bedeckten Hälfte der Ocularblendun erscheint ein Theil des prismatischen Spectrum. Der Spiegel dagegen reflectirt da Licht einer kleinen Ölflamme *L*, welche einem seitlich der Ocularröhre angesetzten, oben und unten aufgeschlitzte Rohre verschiebbar ist. Vor diese Flamme ist eine kleine Blendung *b* angebracht, durch die die sichtbare leuchtende Fläche begrenzt ist. Dem Beobachter erscheint dieses Licht nur einem breiten Zerstreuungskreise, dessen Helligkeit dem Quadrate der Entfernung *s b* umgekehrt proportional ist. Man verschiebt nun die Lampe so lange, bis die Helligkeit der beiden in der Ocularblendung erscheinenden Halbkreise gleich ist, d. h. bis die Grenze beider am undeutlichsten erschein. Die Versuche von Fraunhofer haben sehr wenig übereinstimmende Zahlen für die Helli
334 keit der verschiedenen Theile des Spectrum gegeben, wahrscheinlich hauptsächlich de halb, weil ihm der Einfluſs der absoluten Intensität auf die relative Helligkeit der Farb unbekannt war.

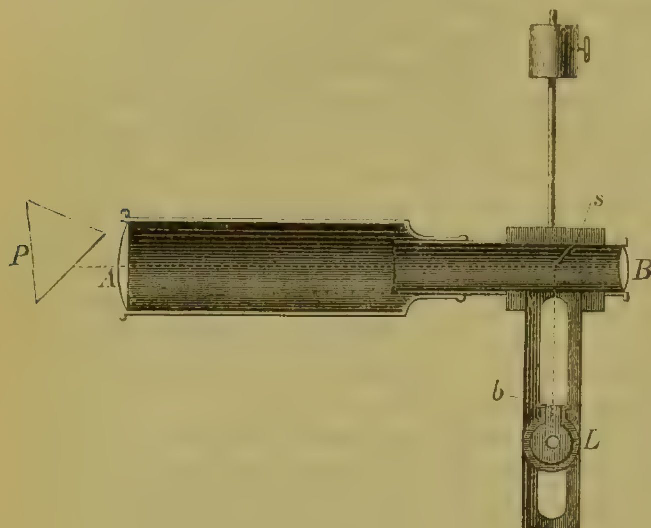


Fig. 178.

Die ersten Messungen über die Empfindlichkeit des Auges für Lichtunterschie hat Bouguer ausgeführt und dabei gefunden, daſs die wahrnehmbare Differenz ein nal hin constanter Bruchtheil der ganzen Intensität sei. Dasselbe Gesetz wurde später v Steinheil, Masson, Arago, Volkmann bei photometrischen Messungen wiedergefund und von Fechner ausführlich behandelt.

Die Beobachtungen über die verschiedene relative Helligkeit der Farben sind zı Theil von Purkinje, später vollständig von Dove, an Spectralfarben von Helmhoı ausgeführt.

Unter den Gegenständen dieses Paragraphen sind über die Irradiation die meist Untersuchungen und Streitigkeiten geführt worden. Die Thatsache, daſs helle Gegenstär unter Umständen vergröſsert erscheinen, drängte sich natürlich schon früh der Beobachtung auf. Plateau citirt Epicurs Brief an Pythocles, in dem erwähnt wird, daſs e Flamme bei Tage in der Ferne kleiner aussehe, als bei Nacht, und daſs deshalb a wohl die Sterne zu groſs erscheinen könnten; dann den Anfang der dritten Satire Persius. — *Jam clarum mane fenestras Intrat et angustas extendit lumine rimas.*

Später waren es besonders die Astronomen, welche die Erscheinungen der Irradiat untersuchten, weil sie sich bei ihren Beobachtungen über die Gröſse der Himmelskör störend bemerklich machte. Keppler[2] schob sie hauptsächlich auf mangelnde Accom

[1] Fraunhofer, *Gilberts Ann.* 1817. Bd. 56. S. 297.
[2] Keppler, *Paralipomena.* p. 217, 220, 285.

dation und hat damit allerdings das Wesentliche der meisten dazu gehörigen Erscheinungen getroffen. Ebenso studirte sie GALILEI[1] genauer; er spricht es aus, daſs sie desto lebhafter ist, je gröſser der Unterschied des hellen Objects und des dunklen Grundes, daſs helle Objecte stets vergröſsert, dagegen dunkle Objecte auf hellem Grunde (Mercur und Venus vor der Sonne) verkleinert erscheinen, daſs die Vergröſserung sehr kleiner Objecte am bedeutendsten ist. Anfangs glaubte er, wie GASSENDI,[2] annehmen zu dürfen, daſs leuchtende Gegenstände die umgebende Luft entzündeten, später aber suchte er den Grund richtiger in unregelmäſsigen Brechungen im Auge. Auch GASSENDI glaubte später, daſs die Sterne bei Nacht gröſser erschienen, weil die Pupille weiter sei. Für sein Auge schwankte der Durchmesser des Mondes, je nach der Helligkeit des Grundes zwischen 33′ und 38′. Die Verkleinerung kleiner Gegenstände auf hellem Grunde erörtert namentlich SCHICKARD,[3] der zugleich die Behauptung aufstellte, daſs das Licht am Rande dunkler Objecte sich zum Theil in den Schattenraum hinein ausbreite, wie denn auch später LE GENTIL[4] die Irradiation durch Diffraction zu erklären suchte. Dagegen suchte HORROCKES[5] in GALLEIS Sinne zu vertheidigen, daſs die Irradiation ihren Sitz im Auge habe. DESCARTES meinte, daſs beim Anblick heller Gegenstände die Pupille sich verengere, das Auge einem nahe sehenden ähnlich werde, und dadurch die Beurtheilung der Entfernung und Gröſse solcher Objecte verändert werde, auſserdem aber könne die Bewegung der Netzhautelemente, wenn sie sehr heftig werde, auf die benachbarten übertragen werden, so daſs das empfundene Bild gröſser erscheine. Hierdurch ist DESCARTES der Urheber der auf Übertragung der Nervenerregung gegründeten Theorie der Irradiation geworden. Als nun später die Astronomen stark vergröſsernde und gutgearbeitete Fernröhre zu gebrauchen anfingen, machte sich die Irradiation bei den gröſseren Gestirnen kaum noch merklich, und man fing an, sie zu bezweifeln und zu leugnen,[6] während andere Astronomen ihre Existenz anerkannten.[7] Bei den astronomischen Beobachtungen vermischen sich in der Regel die Wirkungen der chromatischen und sphärischen Aberration des Fernrohrs mit denen der Unvollkommenheiten des Auges, und es muſste hier nothwendig das Urtheil der Astronomen, welche Fernröhre gebrauchten, verschieden ausfallen, je nach der Beschaffenheit des Fernrohrs. Daſs bei den besten Fernröhren die Irradiation sich in den Messungen nicht mehr merklich macht, hat namentlich BESSEL 1832 beim Durchgang des Mercur vor der Sonne gezeigt.

Während die Astronomen meistens nur die Frage verhandelten, ob Irradiation bestehe oder nicht, die Frage über ihre Ursachen dagegen übergingen, fingen andere Naturforscher auch an, letztere Frage zu behandeln. J. MÜLLER[8] betrachtete anfangs die 335
Irradiation, wie wir es oben gethan haben, als eine Ausbreitung objectiven Lichts, später wurde er selbst, sowie die meisten anderen Physiologen jener Zeit, in welcher sich auch die Lehre von den Mitempfindungen entwickelte, durch die sehr ausführliche Arbeit von PLATEAU[9] über die Irradiation bewogen, sie von einer Übertragung der Reizung von einem Netzhautelement auf das andere abzuleiten. Die Erscheinungen, welche PLATEAU als Irradiation beschreibt, sind von der Art, wie sie ein schwach kurzsichtiges Auge an entfernteren Gegenständen sehen muſs, es sind also meist Erscheinungen unvollkommener

---

[1] GALILEI, *Opere di Galilei.* T. II. p. 18; 255—257, 396; 467—469. *Systema cosmicum.* Lyon 1641 Dial. III. p. 248.

[2] GASSENDI, *Opera omnia.* Florenz 1727. T. III. p. 385, 567, 583—585. T. I. pag. 499—508.

[3] SCHICKARD, *Pars responsi ad epistolas P.* Gassendi *de Mercurio sub sole viso.* Tubingae 1632.

[4] LE GENTIL, *Mém. de l'Acad. d. Sc. de Paris.* 1784. p. 469. (Gelesen 1743.)

[5] HORROCKES, *Venus in sole visa.* Cap. XVI. Abgedruckt hinter HEVELIUS' *Mercurius in sole visus.*

[6] BIOT, *Traité élémentaire d'astronomie physique*, édit. 2me. pag. 534, 536. — DELAMBRE. *Astronomie théorique et pratique.* T. II. chap. 26. § 197. T. III. chap. 29. § 12. — BESSEL, *Astronom. Nachrichten* 1832. No. 228.

[7] HASSENFRATZ, *Cours de physique céleste.* 1810. p. 23. — J. HERSCHEL. *On light.* T. I. §. 697. — QUETELET. *Positions de Physique.* 1829. T. III. p. 81. — BRANDES in *Gehlers physikal. Wörterbuch.* Neu bearbeitet. V. 796. ROBISON. *Mem. of the Roy. Astron. Soc. of London.* V. p. 1.

[8] J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes.* 1826. S. 400.

[9] PLATEAU, *Mém. de l'Acad. de Bruxelles.* T. XI. *Pogg. Ann.* Ergänzungsband. I. S. 79, 193, 405.

Accommodation. Diese Deutung weist er aber zurück, weil er auch die geringe Irradiation, welche sehr helle Gegenstände in der Entfernung des deutlichen Sehens zeigen, beobachtet hatte, und die übrigen Ursachen der Lichtzerstreuung im Auge, welche in diesem Falle wirksam werden, noch nicht kannte. Er stützt sich ferner darauf, dafs nach seinen Versuchen die Irradiation bei verschieden entfernten Objecten immer dieselbe Winkelgröfse behalte; doch beziehen sich seine Messungen nur auf Entfernungen von mehr als 0,6 Meter, also auf Distanzen, innerhalb deren sich der Accommodationsfehler nicht mehr merklich änderte. Auffallend ist, dafs ihn seine Versuche mit Linsen, die die richtige Sehweite herstellten und damit die Irradiation aufhoben, nicht auf die richtige Erklärung geleitet haben. Ebenso möchte es schwer sein, seinen Satz, dafs zwei benachbarte Irradiationen sich gegenseitig schwächen, mit irgend einer Voraussetzung, wie Mitempfindungen erregt werden mögen, zu vereinigen. Denn wenn die Netzhauttheile, welche im Bilde des schwarzen Streifens liegen, von beiden Seiten her in Erregung versetzt werden, mufs ihre Erregung nothwendig stärker werden, als wenn nur an einer Seite ein helles Feld anstöfst. PLATEAU mufs die genannte Behauptung aufstellen, um zu erklären, dafs ein feiner schwarzer Strich auf einem hellen Felde überhaupt noch gesehen wird wenn der Strich schmaler ist, als die Breite der Irradiationssäume; während sich Alles einfach erklärt, wenn man annimmt, die Irradiation rühre von Zerstreuungsbildern her.

Eine Kritik der Arbeit von PLATEAU hat FECHNER und später ausführlicher H. WELCKER[1] gegeben und die Erklärung von KEPPLER wiederhergestellt, welche in der That bei Weitem die meisten Fälle der Irradiation umfafst. Hinzuzusetzen wäre der WELCKERschen Arbeit eben nur noch, dafs sehr kleine und sehr helle Gegenstände auch in der Entfernung des deutlichsten Sehens Irradiation zeigen wegen der übrigen Arten der Abweichung der Strahlen im Auge. An WELCKER schlossen sich Andere an, welch die verschiedenen Arten der Lichtzerstreuung im Auge für die Erklärung der Irradiation gebrauchten, namentlich lenkten FLIEDNER[2] und H. MEYER[3] (Leipzig), CRAMER die Aufmerksamkeit auf die monochromatischen Abweichungen des Auges, FICK auf die chromatische. Es fehlte aber den bisher gegebenen objectiven Erklärungen der Irradiation immer noch der Grund, warum nur die Erhöhung der Helligkeit auf dem dunklen Grunde und nicht zugleich die Schwächung am Rande der hellen Fläche wahrgenommen wir. Diesen, meint der Verfasser, in der obigen Darstellung nachgewiesen zu haben.

§. 22. Die Dauer der Lichtempfindung.

Wenn ein Muskelnerv durch einen kurzdauernden elektrischen Schla erregt wird, so vergeht eine kurze Zeit (etwa $^1/_{60}$ Sec.), ehe die Wirkun
337 der Reizung durch Contraction des Muskels sichtbar wird, und es vergel eine viel längere Zeit (etwa $^1/_6$ Sec.), ehe die Wirkung der Reizung a den Muskel wieder verschwindet. Die Veränderung, welche durch die Reizun in den organischen Theilen eintritt, verläuft also viel langsamer, als d elektrische Entladung, welche die Reizung bewirkte. Dasselbe findet i Auge statt. Wir können allerdings bis jetzt noch nicht nachweisen, da die Empfindung später entsteht, als das Licht einzuwirken anfängt, ab wohl, dafs sie noch andauert, wenn das Licht schon aufgehört hat, ei zuwirken.

Die Dauer der Nachwirkung ist desto gröfser, je stärker das einwirken Licht gewesen ist, und je weniger ermüdet das Auge. Wenn man ein Augenblick nach der Sonne oder in eine helle Lichtflamme geblickt hat u

[1] H. WELCKER, *Über Irradiation und einige andere Erscheinungen des Sehens.* Giessen 1852.
[2] FLIEDNER, *Pogg. Ann.* LXXXV. 348.
[3] H. MEYER, *Pogg. Ann.* LXXXIX. 540.

dann plötzlich die Augen schliefst und mit der Hand bedeckt, oder in einen absolut dunklen Hintergrund blickt, so sieht man noch kurze Zeit auf dem dunklen Grunde eine helle Erscheinung von der Gestalt des vorher gesehenen hellen Körpers, welche allmählich erblafst und dabei auch ihre Farbe verändert. Die Nachbilder sehr heller Objecte sind am leichtesten zu sehen, weil sie am längsten dauern. Übrigens kann man auch von weniger hellen Objecten solche Nachbilder, wie sie hier beschrieben sind, erhalten, wenn nur das Auge vorher im Dunkeln gehörig ausgeruht ist, und man dann für einen Augenblick das Object betrachtet. Ein solches Nachbild eines hellen Körpers auf dunklem Grunde hat im ersten Augenblicke die Farbe des Objects und zeigt oft sehr genau noch die einzelnen Theile des Objects in richtiger Gestalt und Schattirung. Dreht man z. B. in einem übrigens unbeleuchteten Zimmer eine Lampe aus, indem man im letzten Augenblicke nach der Flamme hinblickt, so sieht man nachher noch im Dunkeln das helle Bild der Flamme, umgeben von dem etwas schwächeren der Glocke u. s. w. Ändert man die Richtung des Auges, so bewegt sich das Nachbild in gleichem Sinne, so dafs es immer diejenige Stelle des Gesichtsfeldes einnimmt, welche der ursprünglich vom Lichte getroffenen Stelle der Netzhaut entspricht. Damit das Nachbild recht scharf gezeichnet sei, ist es nöthig am Object einen einzigen Punct scharf zu fixiren. Wenn das Auge gewankt hat, ist das Nachbild verwaschen, oder man sieht auch wohl zwei oder drei Bilder des Objects sich theilweise deckend. Ist das Bild recht scharf gezeichnet, so kann man unter günstigen Umständen an diesem Nachbilde Einzelheiten bemerken, auf die man während der Betrachtung des Objects selbst die Aufmerksamkeit nicht gewendet, und die man deshalb übersehen hatte.

Dergleichen Nachbilder heller Objecte, in denen die hellen Theile des Objects hell, die dunkeln dunkel erscheinen, und die deshalb *positive* Nachbilder genannt werden, vermischen sich übrigens gewöhnlich, während sie allmählich verschwinden, mit anderen Bildern, in denen das Helle des Objects dunkel, das Dunkle hell erscheint, mit *negativen* Nachbildern, welche hauptsächlich dadurch hervorgerufen zu sein scheinen, dafs die Empfänglichkeit der Netzhaut für Licht ebenfalls durch die vorausgegangene Lichtwirkung verändert worden ist. Es lassen sich diese beiden Arten von Erscheinungen in der Beschreibung nicht streng von einander trennen. Ich werde deshalb die genauere Schilderung der positiven Nachbilder erst im nächsten Paragraphen mit der der negativen zusammen geben, und in diesem 338
Paragraphen mich darauf beschränken die Wirkungen schnell wiederholter Lichteindrücke zu beschreiben, bei denen die Nachdauer des Lichteindrucks rein zur Erscheinung kommt, ohne wesentlich durch die veränderte Reizempfindlichkeit des Auges gestört zu werden.

Die Hauptthatsache dieses Gebietes ist die, dafs *hinreichend schnell wiederholte Lichteindrücke ähnlicher Art dieselbe Wirkung auf das Auge ausüben, wie eine continuirliche Beleuchtung.*

Die Wiederholung des Eindrucks mufs zu dem Ende nur so schnell geschehen, dafs die Nachwirkung eines jeden Eindrucks noch nicht merklich nachgelassen hat, wenn der nächste eintritt.

Am leichtesten zeigen dies die rotirenden Scheiben. Wenn sich auf einer schwarzen Scheibe ein heller weifser Punct befindet, und die Scheibe rotirt schnell genug, so erscheint an Stelle des rotirenden Punctes ein grauer Kreis, der in allen seinen Puncten ganz gleichmäfsig aussieht, und an welchem nichts mehr von Bewegung zu entdecken ist. Indem das Auge nämlich irgend eine Stelle des scheinbar ruhenden Kreises fixirt, werden die Stellen der Netzhaut, auf welchen der Kreis sich abbildet, in schneller Wiederholung von dem Bilde des weifsen Punctes getroffen, der sich in dem Kreise bewegt. Sie empfangen also einen Lichteindruck, der wegen der Schnelligkeit der Wiederholung continuirlich erscheint und natürlich nicht so stark ist, als wenn fortdauernd weifses Licht auf die Netzhaut fiele; daher nicht weifs, sondern grau erscheint. Bewegt sich dagegen das Auge selbst, so dafs sein Fixationspunct sich in derselben Richtung fortbewegt, wie der helle Punct, so kann letzterer sichtbar und die scheinbare Continuität des grauen Kreises dadurch unterbrochen werden. Es ist leicht ersichtlich, dafs wenn der Fixationspunct des Auges sich eine Zeit lang genau ebenso schnel und in derselben Richtung fortbewegte, wie der helle Punct, und immer au diesen geheftet bliebe, sich das Bild des hellen Punctes dauernd auf den gelben Flecke der Netzhaut befinden würde, und auf die übrigen Stelle des Augengrundes nur das Bild der dunklen Scheibe fallen würde. Unte diesen Umständen erkennt das Auge die Anwesenheit eines weifsen Flecke an Stelle des grauen Kreises; ebenso wenn die Bewegungen des Fixations punctes und des hellen Flecks zwar nicht ganz congruent sind, aber di relative Bewegung beider gegen einander verhältnifsmäfsig gering ist.[1]

Befindet sich auf der Scheibe noch ein zweiter heller Punct in derselbe Entfernung vom Mittelpuncte wie der erste, so wird auch der zweite scheinba zu einem hellen Kreise ausgebreitet, welcher mit dem hellen Kreise d ersten Punctes zusammenfällt. Die Eindrücke beider Puncte auf der Reti addiren sich. Ebenso wenn eine gröfsere Zahl heller Puncte auf demselb Kreise stehen. Wenn man sich daher auf einer solchen rotirenden Schei Kreislinien gezogen denkt, deren Mittelpunct in der Rotationsaxe der Schei liegt: so geben bei der Rotation alle Puncte einer solchen Kreislinie, einze genommen, das Bild einer gleichmäfsig beleuchteten Kreislinie, und alle die
339 kreisförmigen Bilder der einzelnen Puncte fallen auf dieselben Theile d Netzhaut und vereinigen sich hier zu einem Gesammtbilde. Für diese E scheinung kann man nun folgendes Gesetz aufstellen: Jede Kreislinie d Scheibe, deren Mittelpunct in der Rotationsaxe liegt, erschei so, als ob alles Licht, welches sämmtliche Puncte der Kreislin

[1] Siehe DOVE in *Pogg. Ann.* LXXI. 112. 1846. STEVELLY in SILLIM. J. (2.) X. 401. 1850. — M TIGNI. *Bull. de Bruxelles.* XVIII. 2. p. 4. Institut 1847. No. 928. p. 332.

on sich geben, gleichmäfsig über die ganze Länge der Kreis-inie verbreitet wäre, und zwar scheint dieses Gesetz ebenso gut für ein-arbiges wie für vielfarbiges Licht zu gelten. Beziehen wir dieses Gesetz uf die Thätigkeit der Netzhaut selbst, so können wir es so aussprechen: Wenn eine Stelle der Netzhaut von periodisch veränderlichem ind regelmäfsig in derselben Weise wiederkehrendem Lichte getroffen wird, und die Dauer der Periode hinreichend kurz ist, o entsteht ein continuirlicher Eindruck, der dem gleich ist, velcher entstehen würde, wenn das während einer jeden Pe-iode eintreffende Licht gleichmäfsig über die ganze Dauer der Periode vertheilt würde.

Um die Richtigkeit dieses Gesetzes zu prüfen, construire man sich olche Scheiben, wie *Fig. 179.* Der innerste Ring zeigt die halbe Peripherie Weifs, die andere Hälfte Schwarz; im mitt-eren Ringe sind zwei Viertel, d. h. wieder die halbe Peripherie, weifs, im äufseren ebenso ier Achtel, der Rest schwarz. Läfst man eine olche Scheibe rotiren, so erscheint sie in n ihrer ganzen Ausdehnung ganz gleichmäfsig rau gefärbt. Nur mufs man darauf achten, afs die Scheibe schnell genug rotirt, um uch im innersten Ringe einen vollkommen ontinuirlichen Eindruck zu geben. Ebenso ann man auch das Weifs über andere be-ebig lange Bogenstücke der Peripherie ver-heilen: vorausgesetzt nur, dafs in allen Ringen der Scheibe die Summe der Winkel, welche das Weifs einnimmt, leich grofs ist, dann geben alle immer dasselbe Grau. Statt des Schwarz nd Weifs kann man auch verschiedene Farben nehmen, und erhält in allen Ringen dieselbe Mischfarbe, wenn die Summe der Winkel, welche jede er beiden Farben in den verschiedenen Ringen einnimmt, gleich grofs ist.



Fig. 179.

Auf diese Weise kann man leicht eine grofse Menge von Prüfungen es Gesetzes ausführen, aber freilich immer nur intermittirendes Licht mit ntermittirendem vergleichen, und zwar nur unter Umständen, wo die Qualität der beiden Eindrücke, welche abwechseln, in den verschiedenen erglichenen Fällen dieselbe ist.

Um nun die Richtigkeit des Gesetzes auch für solche Fälle zu verifi-iren, wo intermittirendes Licht mit continuirlichem verglichen werden soll, abe ich die in *Fig. 179* abgebildete Scheibe angewendet, auf welcher Weifs nd Schwarz gleich grofse Winkel einnehmen. Bei der Rotation erscheint in Grau von der halben Lichtstärke des Weifs. Nun kann man andererseits in solches Grau hervorbringen, wenn man auf eine schwarze Tafel einen 340
eifsen Streifen legt und diesen durch ein doppeltbrechendes Prisma an-ieht. Dann erscheinen zwei Bilder des Streifens, jedes aber von der

halben Helligkeit. Eine gröfsere graue Fläche dieser Art erhält man, wenn man abwechselnd gleich breite weifse und schwarze Streifen auf der Tafel anbringt und sich mit dem doppeltbrechenden Prisma in eine solche Entfernung stellt, dafs die Doppelbilder der weifsen Streifen sich genau mit denen der schwarzen decken; dann erscheint die ganze Fläche grau mit der halben Helligkeit des weifsen Streifens. Dieses Grau ist nun genau dasselbe, welches durch Umdrehung der Scheibe *Fig 179* entsteht. Natürlich mufs man bei der Vergleichung zu letzterer dasselbe Schwarz und Weifs nehmen, aus dem man die parallelen Streifen gemacht hat, mufs beide Flächen genau gleich beleuchten und auch die rotirende Scheibe durch das doppeltbrechende Prisma betrachten, aber so, dafs sich ihre beiden Bilder nicht trennen, damit auch das Licht der Scheibe der Reflexion und Absorption im Prisma ebenso unterworfen wird, wie das der weifsen Streifen. Plateau erwies dasselbe Gesetz auf folgendem Wege. Er brachte eine rotirende Scheibe mit weifsen und schwarzen Sectoren und eine ganz weifse in verschiedene Entfernung von einem Lichte, bis ihre Helligkeit gleich grofs erschien. Ist die Zahl der weifsen Sectoren n, und die Breite jedes einzelnen in Winkelgraden gleich w, so ist die Breite aller zusammengenommen gleich nw. Hat nun das Weifs in der Entfernung 1 von der Lichtquelle die Helligkeit H, und denken wir das Licht, welches es aussendet, über die ganze Scheibe gleichmäfsig verbreitet, so wird die Helligkeit geschwächt in dem Verhältnisse, welches die Fläche der ganzen Scheibe zu der der weifsen Sectoren hat. Die Helligkeit wird also $\frac{nw}{360} H$.

Wenn nun die rotirende Scheibe in der Entfernung r von der Lichtquelle gleich hell ist mit einer ganz weifsen Scheibe in der Entfernung R, so mufs sein

$$\frac{nw}{360}\frac{H}{r^2} = \frac{H}{R^2} \text{ oder } \frac{r^2}{R^2} = \frac{nw}{360}.$$

Die Messungen Plateaus stimmen mit diesem Gesetz auch genügend überein.

Ich selbst habe aufserdem auch noch folgenden Weg eingeschlagen. Wenn man eine mit schmalen schwarzen und weifsen Sectoren bedeckte Scheibe hat, so kann man eine scheinbar gleichmäfsige Vertheilung des Lichtes der weifsen Sectoren über die ganze Scheibe hervorbringen, indem man zwischen Auge und Scheibe eine convexe Glaslinse bringt, welche die Accommodation verhindert. Steht die Pupille im hinteren Brennpuncte der Linse, so dafs das Bild, welches die letztere von der Scheibe entwirft, in die Fläche der Pupille fällt, und gröfser ist als die Pupille, so erscheint das Licht der hellen Sectoren gleichmäfsig über das ganze durch die Linse gesehene Gesichtsfeld ausgegossen. Nähert man dagegen die Linse der Scheibe, so sieht das Auge mehr oder minder scharf die einzelnen weifsen und schwarzen Sectoren, so lange die Scheibe stillsteht. Ist die Scheibe in

Bewegung, so bleibt die Helligkeit gleich grofs, man mag die Linse dem
Auge oder der Scheibe näher bringen, woraus unmittelbar folgt, dafs das 341
Auge von dem intermittirenden Licht gleich stark, wie von einer gleichen
Quantität continuirlich ankommenden Lichts afficirt wird.

Für farbiges Licht geht die Richtigkeit des oben hingestellten Satzes aus den Versuchen von Dove hervor über die Erscheinungen, welche rotirende Polarisationsapparate darbieten. Wenn zwischen zwei Nicolsche Prismen doppeltbrechende Krystallplatten eingeschaltet sind, so entstehen bekanntlich in vielen Fällen bei gewissen Stellungen der genannten Prismen Farben, die theils gleichmäfsig über das ganze Feld verbreitet sind, theils farbige Figuren bilden. Bei allen diesen Erscheinungen bekommt aber jeder Punct der Figur, wie theoretisch in der Lehre von der Polarisation des Lichts nachgewiesen werden kann, genau die Complementärfarbe, wenn man das eine Nicolsche Prisma um einen rechten Winkel dreht. Der Versuch bestätigt es nun, dafs bei schneller Rotation des einen Nicol das Auge weifs sieht. Schaltet man noch ein farbiges Glas ein, so erhält man bei zwei um 90° verschiedenen Stellungen des einen Nicol Farben, welche vereinigt die Farbe des Glases geben müssen und bei schneller Rotation auch wirklich geben.

Übrigens wird unser Gesetz für intermittirendes farbiges Licht auch bestätigt durch die Übereinstimmung, welche die Resultate der Farbenmischung auf der drehenden Scheibe mit denen haben, die man durch directe Zusammensetzung des farbigen Lichts gewinnt, was in § 20 bei der Lehre von der Farbenmischung schon erwähnt ist. Will man die ganze Scheibe gleichmäfsig mit der Farbe überzogen sehen, so pflegt man die Scheibe in Sectoren abzutheilen und den einzelnen Sectoren verschiedene Färbung zu geben, die aber in der Ausdehnung jedes einzelnen Sectors ganz constant sein mufs. Dann erscheint bei der Rotation die ganze Scheibe in der Mischfarbe. Die Lichtstärke der Mischfarbe ist aber dabei nach dem obigen Gesetz immer das Mittel aus der Lichtstärke der einzelnen gemischten Farben, und da alle Farbstoffe bei gleicher Beleuchtung dunkler als weifs erscheinen, indem sie nur gewisse Farben, die einen Theil des gesammten weifsen Lichts bilden, reflectiren, so ist auch die Mischfarbe immer lichtschwächer, als Weifs, erscheint also, wenn sie wenig gesättigt ist, grau.



Fig. 180.

Führt man auf einer Farbenscheibe einen farbigen Stern auf andersfarbigem Grunde aus, wie *Fig. 180*, so sieht man bei der Rotation der Scheibe in der Mitte die Farbe des Sterns, am Rande die des Grundes, dazwischen alle continuirlichen Übergangsstufen der einen Farbe durch die Reihe der Mischfarben in die andere. Überhaupt kann man auf den rotirenden Scheiben die Helligkeit oder die Farbenmischung von

der Mitte nach dem Rande hin nach jedem beliebig gewählten Gesetz sich ändern lassen, indem man die Curven, welche die Sectoren begrenze passend wählt, wie wir z. B. schon in *Fig. 159* S. 399 dies Mittel benut haben, um eine bestimmte Vertheilung des Halbschattens darzustellen.

342 Auf den rotirenden Scheiben beschreiben die einzelnen Puncte Krei linien. Dieselbe Continuität des Eindrucks findet natürlich auch statt, wer ein heller Punct sich in irgend einer anderen geschlossenen Curve beweg Überzieht man z. B. eine gespannte Metallsaite mit schwarzer Farbe, mac einen Punct der Saite wieder frei von dem dunklen Überzuge und beleucht ihn passend, so erscheint die Bahn dieses Punctes, wenn die Saite Schwingungen gesetzt wird, als eine continuirliche, oft sehr verschlunge Lichtlinie. Beschreibt der Punct dabei einen Weg, der nicht genau in si zurückkehrt, aber bei jedem folgenden Umlaufe doch der Bahn des frühere Umlaufs sehr nahe kommt, so erscheint dem Auge eine lichte Linie, d allmählich ihre Gestalt und Lage verändert. In derselben Weise h Wheatstone[1] die Schwingungsformen rechteckig prismatischer Stahlstäb Lissajous[2] die Schwebungen von Stimmgabeln beobachtet. Dasselbe Princ hat in der Physik noch eine grofse Zahl von anderen nützlichen Anwendung erhalten.

Ist die Helligkeit des bewegten Punctes in seiner Bahn constant, ab die Geschwindigkeit verschieden, so erscheint die Lichtlinie an den Punct am hellsten, wo die Geschwindigkeit am geringsten ist. An solchen Stell nämlich verweilt der helle Punct verhältnifsmäfsig längere Zeit, und se Licht wirkt deshalb auch längere Zeit auf die entsprechenden Stellen d Netzhaut als an Stellen gröfserer Geschwindigkeit. Beobachtet man z. eine beleuchtete schwingende Saite, so erscheint diese am hellsten da, sie am weitesten von der Gleichgewichtslage entfernt ist, und wo ihre G schwindigkeit für einen Augenblick gleich Null wird.

Hierher gehören auch die eigenthümlichen Wirkungen intermittirend Beleuchtung, welche am schärfsten bei den regelmäfsig wiederholten Funk der magnetelektrischen Inductionsapparate auftreten, sowohl bei denen n rotirendem Anker, wie bei den Neef'schen Apparaten mit schwingend Feder. Jeder einzelne Funken dieser Apparate hat eine unbestimmbar ku Dauer, welche im Vergleich mit der Dauer aller Bewegungen materiel Körper unendlich klein erscheint, doch ist das Licht dieser Funken sta genug, um in dieser aufserordentlich kurzen Zeit einen wahrnehmbaren E druck auf die Netzhaut zu machen. Bei der Erleuchtung durch ein einzelnen elektrischen Funken erscheinen alle bewegten Körper stillstehe Das Auge kann sie natürlich nur so wahrnehmen, wie sie sich in d Momente verhielten, wo sie beleuchtet waren, von ihrer Stellung vor u nach diesem Momente erfährt es nichts. Ist nun die Dauer der Beleucht

---

1 Wheatstone, Description of the Kaleidophone. *New. Quarterly Journal.* I. 1827.

2 Lissajous, Mémoire sur l'étude optique des mouvemens vibratoires. *Ann. chim. phys.* Sér. T. LI. 1857.

so kurz, dafs während derselben keine Verschiebung des bewegten Körpers von wahrnehmbarer Gröfse eintreten konnte, so erscheinen seine Umrisse ganz so scharf begrenzt, wie es bei vollkommener Ruhe der Fall sein würde.

Wenn sich nun eine Reihe von elektrischen Funken in sehr kleinen Zwischenzeiten folgt, so erscheinen ruhende Körper bei dieser Beleuchtung ganz so, wie bei continuirlichem Lichte; bewegte Körper aber erscheinen mehrfach. Jeder einzelne Funke zeigt nämlich den bewegten Körper in der Lage, die er in dem betreffenden Augenblicke einnimmt, und da alle diese Eindrücke einen Augenblick dauern, so sind sie alle gleichzeitig vorhanden und lassen den bewegten Körper als mehrfach vorhanden erscheinen. Je schneller die Bewegung des gesehenen Körpers ist, desto weiter rücken seine 343
Bilder aus einander, weil der Weg, den er während jeder Intermission des Lichts zurücklegt, gröfser wird.

Ebenso erscheinen nun mehrfache Bilder, wenn nicht die Objecte, sondern das Auge bewegt wird. Wenn sich im Gesichtsfelde ein continuirlich leuchtender Punct befindet, und wir das Auge bewegen, so rückt dabei das Bild des lichten Punctes auf eine andere Stelle der Netzhaut hinüber. Während der Bewegung trifft es nach einander alle continuirlich an einander stofsenden Puncte einer Linie, die den Ort seiner ersten und seiner letzten Lage verbindet; alle diese Puncte werden erregt, und es mufs dadurch für einen Augenblick die Empfindung in der Netzhaut entstehen, welche bei ruhendem Auge eine lichte Linie hervorbringen würde. Gewöhnlich achten wir nicht auf diese Empfindung, weil sie eben jede Bewegung des Auges bei der Gegenwart lichter Objecte im Gesichtsfelde begleiten mufs, wir bemerken es aber, wenn ungewöhnlicher Weise bei intermittirendem Lichte die Continuität dieser Linie unterbrochen ist. Benutzen wir als lichtes Object die Stelle des Inductionsapparates, wo die Funken überschlagen, so erscheint bei Bewegungen des Auges der helle Punct vervielfältigt. Denken wir uns nämlich auf der Netzhaut die Linie gezeichnet, welche das Bild der Funkenstelle beschreibt, so werden von den intermittirenden Funken nur einzelne Stellen dieser Linie erregt, denen entsprechend wir Bilder in das Gesichtsfeld projiciren.

Wenn ein bewegter Körper, den wir bei intermittirendem Lichte betrachten, eine in sich zurücklaufende Bahn beschreibt und zur Zeit jedes Aufblitzens genau an derselben Stelle sich befindet, so erscheint er einfach und stillstehend. Zum Beispiel erscheint die schwingende Feder oder der rotirende Anker der bekannten magnetelektrischen Inductionsapparate beim Lichte ihrer eigenen Funken still zu stehen. Dasselbe geschieht, wenn irgend ein anderer Körper von periodisch veränderlicher Gestalt durch intermittirendes Licht beleuchtet wird, und die Beleuchtung immer mit denselben Phasen seiner Veränderung zusammentrifft; z. B. wenn ein Wasserstrahl, der sich in Tropfen auflöst, so beleuchtet wird, dafs im Moment der Beleuchtung ein neuer Tropfen immer wieder genau an derselben Stelle ist, so sieht der Beobachter den Strahl in stillstehende Tropfen aufgelöst. Dies geschieht,

wenn die Periode der Beleuchtung genau gleich ist der Periode der Tropfenbildung oder einem Multiplum derselben. Fällt die Periode der Beleuchtung nicht genau zusammen mit der Periode der Tropfenbildung, oder einem Multiplum derselben, sondern ist jene ein Weniges länger, so tritt eine scheinbare langsame Bewegung der Tropfen ein, welche die wirkliche Bewegung nachahmt, aber mit sehr verringerter Geschwindigkeit. Es werden dann von den folgenden Funken nicht genau dieselben Phasen der Tropfenbildung beleuchtet, wie von dem ersten, sondern immer weiter fortgeschrittene Zustände der folgenden Perioden dieser veränderlichen Erscheinung. Ist die Periode der Beleuchtung dagegen etwas kürzer, als die Periode der Tropfenbildung oder ein Multiplum derselben, so sieht der Beobachter die Erscheinung rückwärts vor sich gehen. Die Tropfen steigen zum Strahle hinauf und gehen in diesen über. Durch diese Verhältnisse wird es möglich, diese und andere periodische Erscheinungen, welche so schnell vor sich gehen,
344 dafs der Beobachter sie mit dem Auge nicht unmittelbar erkennen kann, in ihren einzelnen Stadien sichtbar zu machen und zu analysiren. Einige künstlich hervorgebrachte Erscheinungen derselben Art werden unten bei Beschreibung der Apparate auseinandergesetzt werden.

Die Dauer des Lichteindrucks auf das Auge bestimmt man am leichtesten mit Hülfe von Farbenscheiben, die eine veränderliche und mefsbare Umlaufsgeschwindigkeit haben. Mit Sicherheit läfst sich dabei nur die Umlaufsgeschwindigkeit bestimmen, welche nöthig ist, um der Schcibe ein ganz gleichmäfsiges Ansehen zu geben. Es zeigt sich dabei, dafs sie desto gröfser gemacht werden mufs, je gröfser die Lichtstärke ist. Auch scheinen die verschiedenen Farben dabei Unterschiede zu zeigen. PLATEAU liefs bei gewöhnlichem Tageslichte eine mit 12 weifsen oder farbigen und 12 gleich breiten schwarzen Sectoren versehene Scheibe rotiren. Die Dauer des Vorübergangs eines schwarzen Sectors war also der 24. Theil der Umlaufszeit der Scheibe. Diese Zeit war, wenn die Scheibe einen gleichmäfsigen Eindruck machte

	PLATEAU.	EMSMANN.[1]
Für Weifs	0,191 Secunden	0,25 Secunden
„ Gelb	0,199 „	0,27 „
„ Roth	0,232 „	0,24 „
„ Blau	0,295 „	0,22 bis 0,29.

Auf die Vergleichung der verschiedenen Farben wird hierbei kaum viel Werth gelegt werden können, da ein Mittel, ihre scheinbare Helligkeit genau gleich zu machen, fehlte, und die Helligkeit einen sehr grofsen Einflufs auf die Dauer der Nachwirkung hat. Man erkennt dies leicht, wenn man einige Fufs entfernt von einer Lampe, einen Farbenkreisel in Bewegung setzt, dessen Geschwindigkeit eben hinreicht, einen gleichmäfsigen Eindruck zu erzeugen, und dann die Lampe nähert, sogleich fängt die rotirende Fläche

[1] EMSMANN, *Pogg. Ann.* XCI. 611. 1851.

eder an zu flimmern. Bei directer Sonnenbeleuchtung mufs man noch gröfsere rehungsgeschwindigkeiten anwenden. Übrigens sind PLATEAUS Zahlen auffallend ofs. Ich selbst finde, dafs bei stärkstem Lampenlicht, welches eine Scheibe it gleich breiten weifsen und schwarzen Sectoren beleuchtet, der Vorüberng des Schwarz nur etwa $^1/_{48}$ Secunde und auch bei sehr schwacher Beachtung im Lichte des Vollmonds nur $^1/_{20}$ Secunde zu dauern braucht, wenn es Flimmern authören soll. Übrigens hat PLATEAU schon bemerkt, dafs, wenn n das Verhältnifs zwischen der Breite der weifsen und der der schwarzen ctoren verändert, aber die Zahl der Sectoren constant läfst, die Umlaufsit dieselbe ist, bei der der Eindruck gleichmäfsig wird. Man kann s sehr leicht nachweisen durch eine heibe, wie *Fig. 181*, an welcher die hwarzen Sectoren nach der Mitte, die ifsen am Rande breiter sind. Das Flimrn hört bei steigender Umlaufsgeschwindigit in allen Abtheilungen der Scheibe nahe ichzeitig auf. Bei breiteren weifsen Sectoren die Empfindung stärker und sinkt deshalb neller, sobald der Reiz fortfällt; daher die use, d. h. die Breite des schwarzen Sector, einer sein mufs, als bei schmaleren weifsen ctoren. Es ist also wohl besser, bei den 345
essungen nach der Gröfse einer ganzen riode der Beleuchtungsänderung zu fragen, d. h. nach der Summe der Dauer s Vorübergangs eines weifsen und schwarzen Sectors. Diese ist in meinen rsuchen bei stärkstem Lampenlicht also $^1/_{24}$, bei schwachem Licht $^1/_{10}$ Secnde gewesen. LISSAJOUS, welcher den Weg eines sehr hellen Lichtpunctes obachtete, der die Bewegungen schwingender Stimmgabeln mitmachte, fand r helleren Beleuchtung entsprechend eine noch kürzere Zeit, nämlich Secunde für die Zeit, während welcher die ganze Curve continuirlich chien. Nur darf man das Auge nicht bewegen; bei leisen Bewegungen sselben tauchen sehr leicht wieder Flecken auf.



Fig. 181.

Soll also eine rotirende Scheibe einen ganz gleichmäfsigen Eindruck chen, so mufs man sie 24 bis 30 Mal in der Secunde umlaufen lassen. er man kann dasselbe auch durch geringere Umlaufsgeschwindigkeiten erchen, wenn man die Zeichnung in gleichen Winkelabständen regelmäfsig ederholt. So wird z. B. auf der Scheibe *Fig. 179* das Schwarz und Weifs 8 Sectoren des äufsersten Ringes sich schon bei 6 Umläufen der Scheibe gleichmäfsigem Grau verbinden, das des mittleren Ringes erst bei 12, das innersten erst bei 24 Umläufen. Schwerer ist es, die Zeit zu bestimmen, hrend welcher der Eindruck in abnehmender Stärke nachdauert, ehe er nz verlischt. Auch diese Zeit ist von der Lichtstärke abhängig, wie schon früher Gesagte erkennen läfst. Die Nachdauer des hellen Sonnenbildes nn selbst bis zu einigen Minuten dauern. Während also die Wirkung

hellen Lichts im Anfang am schnellsten abnimmt, hat sie doch im Ganzen die längste Dauer, ähnlich wie ein heifser Körper in kühler Umgebung um desto mehr Temperaturgrade in gleicher Zeit sich abkühlt, je heifser er ist, aber auch desto längere Zeit braucht, ehe er seine höhere Temperatur ganz verloren hat. PLATEAU hat an seinen Farbenscheiben auch in dieser Beziehung Messungen angestellt, welche die Zeit des Vorübergangs eines schwarzen Sectors ergeben, wenn die Farbe der hellen Sectoren sich über die schwarzen so ausgebreitet hatte, dafs das Schwarz nirgends mehr rein erschien. Es ergab sich

für	Weifs	0,35	Secunden
für	Gelb	0,35	„
für	Roth	0,34	„
für	Blau	0,32	„

Eine verschiedene Dauer der Nachwirkung für die verschiedenen Farben zeigt sich auch noch in den Farbenveränderungen, welche das Nachbild eines weifsen Lichts auf dunklem Grunde erleidet, ehe es ganz verschwindet. Da sich diese Erscheinungen aber mit denen, welche im folgenden Paragraphen beschrieben werden sollen, mannigfaltig vermischen, so möge erst dort ihre genauere Beschreibung folgen.

346 Aus den in diesem Paragraphen geschilderten Thatsachen geht hervor dafs Licht, welches die Netzhaut getroffen hatte, im Sehnervenapparate eine primäre Wirkung hinterläfst, die erst in den nächstfolgenden Augenblicken sich in Empfindung umsetzt. Die Gröfse der primären Veränderung die ein momentaner Lichteindruck zurückläfst, hängt nur von der Quantität Licht ab, die auf den betreffenden Theil der Netzhaut gefallen ist, wobei e einerlei ist, ob sehr intensives Licht eine kurze Zeit, oder schwächeres eine längere Zeit gewirkt hat, vorausgesetzt nur, dafs die Zeit der Einwirkung überhaupt kleiner als $^1/_{30}$ Secunde gewesen ist. Die primäre Gesammtwirkung sehr intensiven Lichts fällt also nicht verhältnifsmäfsig schwäche aus, als die mäfsigen Lichts von entsprechend längerer Dauer, wie die doch bei dauernder Empfindung des Lichts von verschiedener Stärke de Fall ist.

Es liegt hierin kein Widerspruch, wie es wohl scheinen könnte, denn den Mangel der Proportionalität fanden wir zwischen der objectiven Lichtintensität und der fertig ausgebildeten Empfindnng, hier haben wir es dagegen nur zu thun mit der augenblicklichen primären Wirkung, die erst später in Empfindung übergehen wird, und es ist kein Hindernifs anzunehmen dafs die vermuthlich photochemische Wirkung in der Nervenmasse einem andere Gesetze der Gröfse folge, als die secundäre Wirkung, die Empfindung. Das ganze Verhältnifs wird vielleicht am klarsten durch den Vergleich mit einem Magneten, der in einem galvanischen Multiplicator aufgehängt ist, und durc einen intermittirenden Strom von hinreichend schnellen Intermissionen abgelenkt wird. Auch in diesem Falle hängt die Ablenkung nur ab von de

sammten Menge von Elektricität, welche in der Zeiteinheit durch den raht fliefst, ohne doch dieser Menge nothwendig proportional zu sein. Auch hier istirt aber eine der Elektricitätsmenge jedes einzelnen momentanen Stromes oportionale Wirkung, nämlich die kleine Geschwindigkeit, welche er dem agneten im Sinne der Ablenkung mittheilt, und welche bis zum Eintritt s nächsten Stromes durch die Wirkung des Erdmagnetismus wieder auf-hoben sein mufs, wenn die Ablenkung des Magneten constant bleiben soll. r Magnet erscheint continuirlich ruhend abgelenkt, wenn die Schwankungen seiner Lage, welche die einzelnen Stromstöfse hervorbringen, zu klein d, um wahrgenommen zu werden; so giebt auch ein intermittirendes Licht e continuirliche Empfindung, wenn die Schwankungen in der Stärke der pfindung kleiner sind, als die kleinsten wahrnehmbaren Stufen der Empfindung.

Was die Einrichtung der rotirenden eiben betrifft, welche MUSCHENBROEK[1] rst erwähnt, so sind die einfachsten Kreisel. Ich pflege für die meisten rsuche einen einfachen aus Messing rehten Kreisel zu benutzen, dessen rschnitt in *Fig. 182* in 1/3 Gröfse gestellt ist. Er wird nur mit der nd in Gang gebracht. Man kann ihn halb in jedem Augenblicke leicht und e Vorbereitung in Bewegung setzen, e Geschwindigkeit nach Belieben stärken oder mäfsigen, aber allerdings spricht das Maximum der Geschwin-

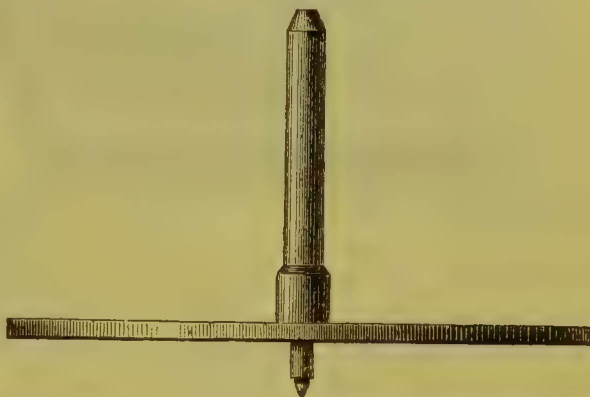


Fig. 182.

keit, was man ihm mit den Fingern mittheilen kann, nur ungefähr 6 Umdrehungen 347
der Secunde, wonach er 3 bis 4 Minuten in Bewegung bleibt. Wegen der geringen ationsgeschwindigkeit bekommt man einen ganz gleichmäfsigen Lichteindruck nur, n die Scheiben in 4 oder 6 Sectoren getheilt und in jedem die gleiche Vertheilung Farben, Licht und Schatten angebracht ist. Ist die Zahl der gleichen Wieder-ungen der Zeichnung eine geringere, so giebt es wenigstens bei starker Beleuchtung mehr oder weniger schillerndes Ansehen der Scheibe. Die Zeichnungen kann man st während des Ganges der Scheibe leicht darauf werfen und kann auch leicht Ver-erungen hervorbringen, wenn man auf eine volle Scheibe eine mit ausgeschnittenen toren wirft, deren Lage auf der unteren man durch Hinstreifen mit den Fingern oder ch Blasen mit dem Munde verändern kann; so lassen sich während des Ganges der eibe sehr mannigfaltige Variationen hervorbringen.

Giebt man der Scheibe z. B. gleich breite blaue und rothe Sectoren, und legt darauf Scheibe mit gleich breiten Sectoren, von denen man den ersten, dritten, fünften w. schwarz gemacht hat, während der zweite, vierte, sechste u. s. w. fortgeschnitten so wird bei der Rotation die ganze Scheibe blau sein, wenn die schwarzen Sectoren oberen Scheibe auf die rothen der unteren fallen und diese verdecken, dagegen die Scheibe roth erscheinen, wenn die schwarzen Sectoren der oberen Scheibe auf blauen der unteren fallen; in den Zwischenlagen erhält man verschiedene Mischungen Roth und Blau und kann daher während des Ganges der Scheibe die eine Farbe ählich in die andere übergehen lassen, wenn man durch Überstreifen mit dem Finger durch Blasen die Lage der oberen Scheibe verändert. Begrenzt man die verschie-n Sectoren nicht durch gerade, sondern durch krumme oder gebrochene Linien, so n man leicht sehr mannigfache und bunte Wechsel von Ringsystemen erzeugen.

[1] MUSCHENBROEK, Introductio. § 1820. 1760.

Um den Kreiseln gröfsere Geschwindigkeit zu geben, müssen sie durch ein um ih Stiel geschlungenes Band, welches man abzieht, in Bewegung gesetzt werden. Die fachste Einrichtung dazu ist die in *Fig. 183* abgebildete. Es dient dazu ein hölzer



Fig. 183.

Hohlcylinder *c*, der an einem Stiele *d* sitzt, bei *b* und *e* zwei einander gegenüberstehe Durchbohrungen seiner Mantelfläche hat und von beiden, um einen rechten Winkel fernt, einen Einschnitt. Man steckt den Stiel *b* des Kreisels durch die Offnungen Cylinders, führt das Ende eines starken Fadens durch eine Durchbohrung des Stiels dreht mit dem Finger den Kreisel, bis der Faden aufgewickelt ist. Der Theil des Sti um den der Faden aufgewickelt ist, wird dadurch so dick, dafs er nicht mehr aus Hülse *c* hinausgleiten kann. Hält man nun den Kreisel mittelst der Hülse nahe ü einem Tische, zieht den Faden kräftig ab, so kommt der Kreisel in schnelle Rota und fällt, sobald der Faden abgewickelt ist, auf den Tisch herab, wo er lange we
348 läuft. Der in *Fig. 184* nach seiner Zusammensetzung abgebildete Kreisel ist so gerichtet, dafs man Scheiben mittelst Stiels fest klem kann, wie dies bei Versuchen von MAXW zur Bestätigung NEWTONschen Gese der Farbenmischung thig ist. Man bra dazu eine Reihe nerer und gröfs runder Scheiben steifem Papier mit ei centralen Öffnung einem radialen Sch wie *Fig. 185* zeigt. Scheibe wird nur einer Farbe gleichmä überzogen; legt zwei oder mehrere einander und sch sie gegenseitig du

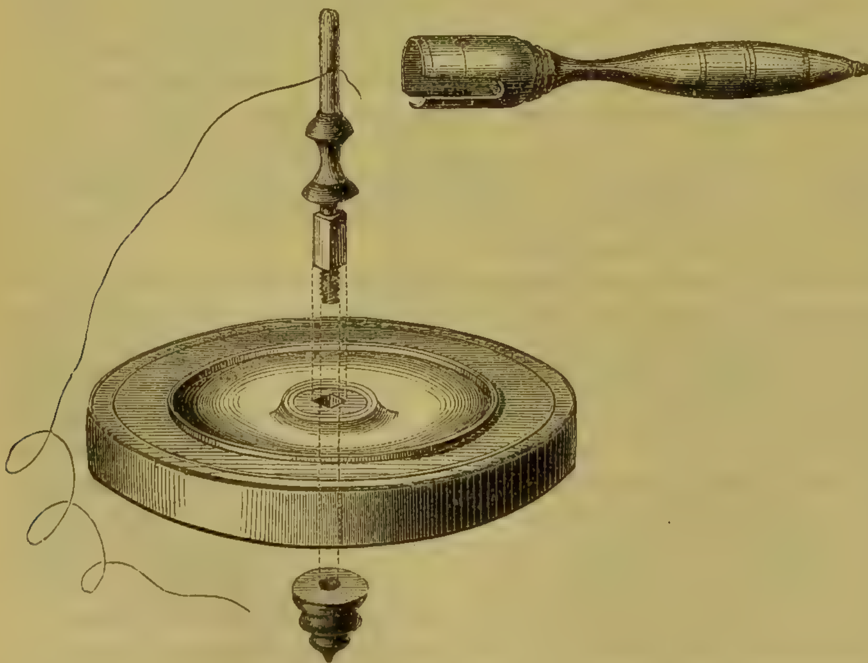
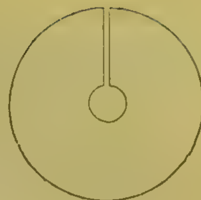


Fig. 184.


Fig. 185.

.e Schlitze hindurch, so werden auf jeder Seite Sectoren der einzelnen heiben von beliebig veränderlicher Breite sichtbar, so dafs das Mischungshältnifs der Farben continuirlich geändert werden kann.

Die vollkommenste Construction für einen Kreisel, der nur bei sehr hneller Bewegung gebraucht werden soll, bietet der Busoldsche Farbeneisel dar (*Fig. 186*). Er besteht aus einer fünf Pfund schweren Scheibe, aus einer Legirung von Zink und Blei gegossen ist, ein Decimeter Durchmesser. Die Axe von Messing läuft unten auf einer fein abrundeten Spitze von nicht gehärtetem Stahl. Der cylindrische Theil der Axe ist rauh macht, damit die Schnur fest darauf liegen kann. Will man den Kreisel in Bewegung zen, so wird seine Axe ch Umwickelung mit Schnur in die Einnitte der eisernen Arme eingelegt, ein Teller tergestellt und mit der hten Hand die Schnur iftig abgezogen, wähd die linke sich gegen 1 Hebel *e* stützt. Der eisel mufs vor dem Abhen möglichst nah am nde des Tellers stehen, Schnur einen halben fs kürzer sein, als ausgespannten Arme ssen, und an ihrem de mit einer Handhabe rsehen sein. Wenn der Kreisel läuft, zieht man den Teller mit dem Kreisel unter 1 Armen des Hebels *e* hervor. Dieser, welcher um eine Axe bei *c* drehbar ist, hebt h dabei nach oben. Bei kräftigem Abziehen der Schnur kann man bis 60 Umehungen in der Secunde hervorbringen, und die Bewegung hält 45 Minuten an.

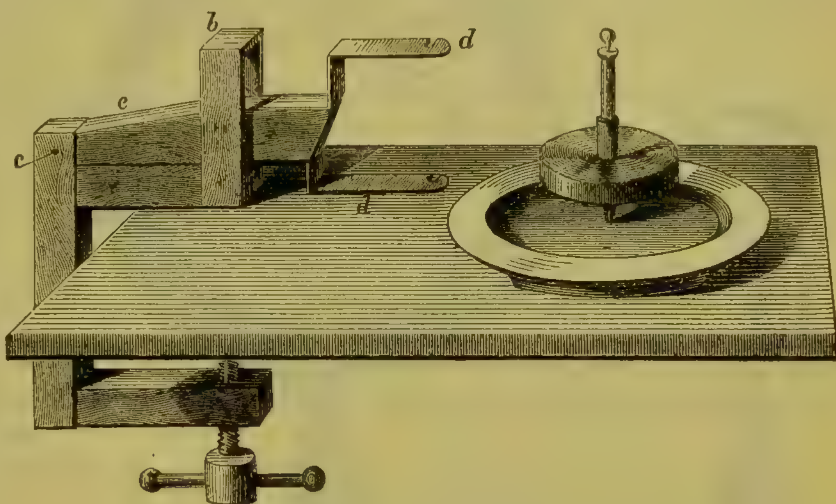


Fig. 186.

Aufser den Kreiseln hat man nun auch vielfältig Scheiben benutzt, deren Axe in ei Zapfenlagern läuft, und die entweder durch ein Uhrwerk, oder eine unendliche 349
nnur, oder durch Abziehen einer Schnur wie die Kreisel in Bewegung gesetzt werden.

Eine für messende Versuche bestimmte wesentliche Verbesserung ist ein von mmer und Brodhun neuerdings construirter Rotationsapparat, auf welchem zwei ausschnittene Scheiben laufen, deren Stellung zu einander während der Rotation allmälig indert werden kann. Die Beschreibung wird in den photometrischen Berichten der utschen phys. techn. Reichsanstalt gegeben werden.

Im Allgemeinen tritt bei diesen Apparaten die Unbequemlichkeit ein, dafs man die heiben nicht wechseln kann, ohne den Apparat anzuhalten und die Scheibe aus ihren enlagern zu entfernen. Andererseits hat man den Vortheil, die Scheibe in verticaler ellung umlaufen lassen zu können, wobei ein grofses Auditorium sie gleichzeitig sehen nn, was bei den Kreiseln nicht so leicht zu erreichen ist. Mischung der Farben hat ntigny auch durch ein rotirendes Prisma erreicht, dessen objectives Spectrum er über ien weifsen Schirm laufen liefs.

Das Thaumatrop ist ein rechteckiges Täfelchen, welches man um eine Axe, die rch die Mitte der längeren Seiten geht, rotiren läfst. Auf die eine Seite ist etwa ein gel gemalt, auf die andere der Käfig. Wenn man schnell rotiren läfst, scheint der gel im Käfig zu sitzen. Es ist jetzt als Kinderspielzeug bekannt, erfunden von Paris.[1]

[1] Paris, *Edinb. Journal of Science.* VII. 87. *Pogg. Ann.* X. 480. 1827.

Es schliefsen sich hier die zusammengesetzteren Apparate an, welche rotiren Bilder durch gleichzeitig rotirende Spalten sehen lassen. Dazu gehören zunächst d stroboskopischen Scheiben von Stampfer, welche gleichzeitig und unabhängig v Plateau erfunden und mit dem Namen des Phänakistoskops belegt wurden.[1]

Die stroboskopischen Scheiben sind Papierscheiben von 6 bis 10 Zoll Durchmess (*Fig. 187*), auf denen sich, im Kreise gestellt und in gleichen Entfernungen von einand eine Anzahl (8 bis 12) v Figuren befindet, welche ei Reihe von Momenten irge einer periodisch wiederkehre den Bewegung darstellen. Ei solche Scheibe wird conce trisch auf eine zweite etw gröfsere dunkle Scheibe geleg die am Rande ebenso v Öffnungen hat, als die erste Figuren, und beide zusamm mittelst einer Schraubenmutt auf das vordere Ende ein kleinen eisernen Axe befesti die im oberen Ende ein passenden Handgriffs ang bracht ist. Beim Gebrauc des Instruments stellt m sich vor einen Spiegel, wend die Scheibe mit den Figur gegen diesen, stellt das Au so, dafs man durch eines d Löcher am Rande der gröfser Scheibe das Spiegelbild d Figuren sieht, und setzt n die Scheiben in Rotation. Da scheinen die Figuren, die man im Spiegel sieht, die Bewegung auszuführen, deren A dargestellt sind, ohne sich dabei von der Stelle zu bewegen.

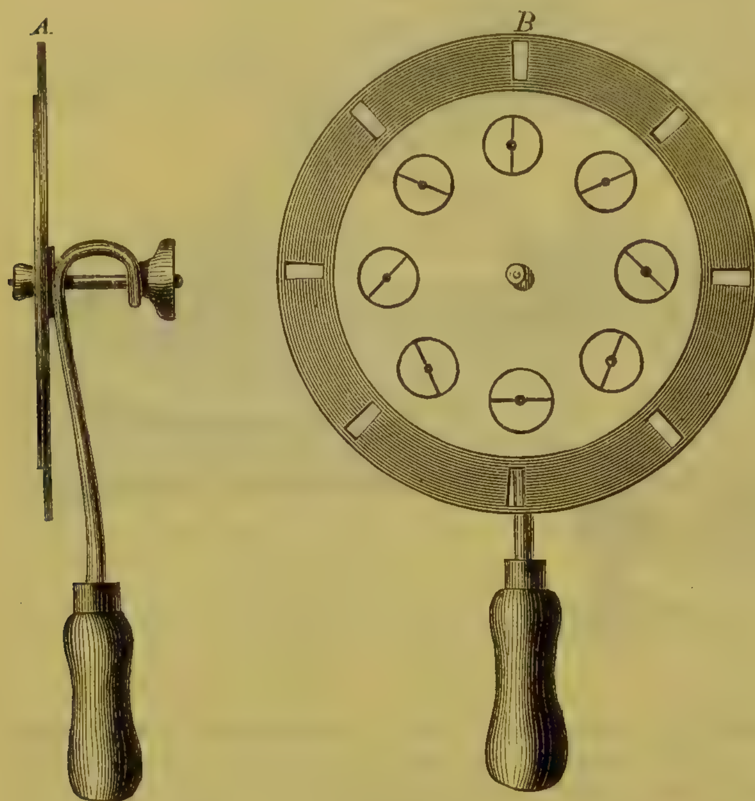


Fig. 187.

Bezeichnen wir diese Öffnungen mit Ziffern, und nehmen wir an, dafs das Auge zue durch die Öffnung 1 sehe, dann, wenn die Scheibe weiter rotirt, durch die Öffnung 2 u. s. und bezeichnen wir ferner die Figuren, die auf den zu Öffnung 1, 2, 3 u. s. w. gehenden Radi
350 stehen, mit denselben Ziffern, so wird zunächst der Beobachter, indem er durch Öffnung 1 nach dem Spiegel sieht, auf dem Radius, der im Spiegelbilde der Scheibe na dem Spiegelbilde seines Auges hinweist, die Figur 1 erblicken. Wenn er nun die Sche dreht, so geht die Öffnung 1 vor seinem Auge vorbei, das Spiegelbild wird ihm zunäc durch die dunkle Pappscheibe ganz verdeckt, und erst wenn die Öffnung 2 vor sein Auge ankommt, erblickt er es wieder. Nun steht aber die Figur 2 an demselben O wo sich vorher Figur 1 befand, nämlich auf dem Radius, der vom Mittelpunct Scheibe nach dem Auge des Beobachters geht. Es folgt wieder Dunkelheit, bis Öffnun vor das Auge tritt und nun Figur 3 an demselben Platze erscheint, wo vorher 1 un sich befanden. Wären nun diese Figuren alle einander gleich, so würde der Beobach eine Reihe von einander getrennter, unter sich aber gleicher Gesichtseindrücke erhalt welche bei hinreichend schneller Wiederholung in eine andauernde Empfindung v

---

[1] Plateau schickte schon im November 1832 durch Quetelet ein Exemplar an Farad Stampfer verfertigte die erste im December 1832. Plateau beschrieb seine Erfindung in einem 20. Januar 1833 datirten Schreiben in der *Correspondance math. et physique de l'observat. de Bruxelles* VII. Stampfer in einer besonderen Schrift: „Die stroboskopischen Scheiben oder optischen Zauberschei deren Theorie und wissenschaftliche Anwendung“, deren Vorrede von Juli 1833 datirt ist.

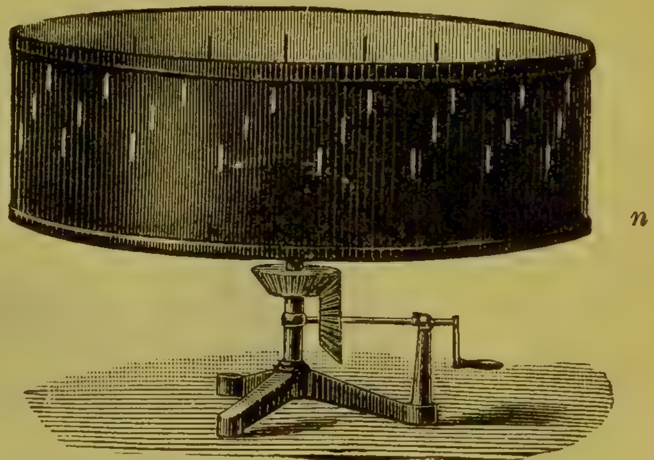
melzen, die einem ruhenden Objecte entspricht. Wenn die Figuren dagegen von einer ein wenig verschieden sind, so verschmelzen die getrennten Lichteindrücke auch dem Bilde eines Gegenstandes, aber dieser verändert sich scheinbar fortdauernd, so es die Reihenfolge der Bilder mit sich bringt.

Wenn die Zahl der Figuren nicht gleich der der Löcher ist, so erscheinen die uren in vor- oder rückschreitender Bewegung. Denken wir uns n Löcher und m uren, die Zahlen m und n aber nur wenig verschieden, und zu Anfang eine der uren auf dem Radius stehend, der nach dem Auge des Beobachters, welches durch Öffnung schaut, hinweist. Wird die Scheibe um den Bogen $\frac{2\pi}{n}$ gedreht, so tritt der eine Öffnung vor das Auge des Beobachters. Die zweite Figur ist dann aber um n Bogen $\left(\frac{2\pi}{n} - \frac{2\pi}{m}\right)$ von dem genannten Radius entfernt. Ist dieser Bogen nun n genug, so dafs die zweite Figur sich jetzt näher an dem erstgesehenen Orte der en Figur befindet, als jede andere jetzt sichtbare Figur, so identificiren wir die t gesehene zweite mit der früher gesehenen ersten Figur und glauben, die letztere das entsprechende Bogenstück fortbewegt zu sehen. Gewöhnlich macht man m ch $n - 1$ oder gleich $n + 1$. Im ersteren Falle schreiten die Figuren in dem Sinne , wie die Scheibe sich dreht, im zweiten Falle entgegengesetzt.

Je schmaler man die Öffnungen der gröfseren Scheibe macht, desto schärfer benzt werden die Bilder gesehen, aber desto lichtschwächer werden sie auch. Um die der objectiv an die Wand zu werfen, hat Uchatius[1] einen Apparat construirt. Sehr zlich verwendet sind sie von J. Müller[2], um die Vorgänge der Wellenbewegung zu sinnlichen.

Das **Dädaleum** von W. G. Horner ein ähnliches Instrument, nur sind Löcher auf dem Mantel eines hohlen inders angebracht, und die Bilder ls auf der Innenfläche des Mantels besten transparent), theils auf der ndfläche.

Fig. 188.



Durchmesser des Cylinders $57\frac{1}{2}$ cm.

Eine jetzt viel gebrauchte Form es Instruments ist die in *Fig. 188* gestellte. Die Bilder werden auf gen Papierstreifen angeordnet, die in den Hohlcylinder hineinlegt, so sie sich dem unteren Theile seiner eren Wand anlegen und bei der Roon durch die Centrifugalkraft fest edrückt werden. Man setzt die mmel in Bewegung und betrachtet Bilder durch eine der Seitenöffnungen. Durch eine Öffnung der mittleren Reihe esehen scheinen sie gewöhnlich auf ihrer Stelle zu bleiben, durch eine Öffnung der ren oder unteren Reihe gesehen aber vorwärts oder rückwärts fortzuschreiten. Auseichnet vollendete Bilder sind durch Momentphotographien von dem Amerikaner rn Muybridge und von Herrn O. Anschütz in Deutschland erzeugt worden, die natüre Bewegungen von Menschen und Thieren in aufserordentlicher Treue wiedergeben. Figuren *189* zeigen eine solche Reihe von dem letzteren entworfen. Diese Bilder l auch für das Studium der thierischen Bewegungen wichtig.

---

[1] Uchatius, *Sitzungsberichte der k. k. Akad. zu Wien.* X. 482. 1853.
[2] J. Müller, *Pogg. Ann.* LXVII. 271. 1846.



Figuren 189.

350 Bei den bisher beschriebenen Apparaten rotiren die Figuren und die Öffnung
mit derselben Winkelgeschwindigkeit; eine andere Reihe von Erscheinungen zeigt si
wenn sie mit verschiedener Winkelgeschwindigkeit rotiren.

Einer der einfachsten Apparate dieser Art ist der in *Fig. 190* dargestellte Kre
von J. B. Dancer in Manchester, wenn man auf dem Vorsprung der Axe noch e
zweite Scheibe ruhen läfst, in welcher Öffnungen verschiedener Gestalt angebra
351 sind, und an deren Rand ein Stück Faden angeknüpft ist, wie es *Fig. 190* darst
Diese obere Scheibe rotirt langsamer als der Kreisel wegen des Luftwiderstandes
dem mit ihr herumfliegenden Faden, während sie durch die Reibung an der Axe
Kreisels mitgenommen wird. Enthält die untere Scheibe mehrere verschiedengefär
Sectoren, so sieht man die in die obere Scheibe eingeschnittenen Figuren vervielfält
und in den verschiedenen Farben der unteren Scheibe ausgeführt, ein sehr buntes B
was bald continuirlich, bald springend sich zu bewegen scheint.

Betrachten wir eine einzelne Öffnung der oberen Scheibe und rechnen die Drehungsinkel von der Stelle ab, wo sie sich zu Anfang der betrachteten Zeit befindet. Ein in r verlängerten Axe des Kreisels beadliches Auge wird durch die Öffnung ne der Farben der unteren Scheibe ericken, und diese Stelle gelte auf der nteren Scheibe als Nullpunct für die essung der Winkel. Die obere Scheibe ufe m Male, die untere n Male in der cunde um, beide in gleicher Richtung: ist der Bogen, um den sich jeder inct der oberen Scheibe in der Zeit fortbewegt gleich $2\pi m t$, und für die incte der unteren Scheibe, ist derlbe gleich $2\pi n t$. Von zwei Punkten r oberen und unteren Scheiben die

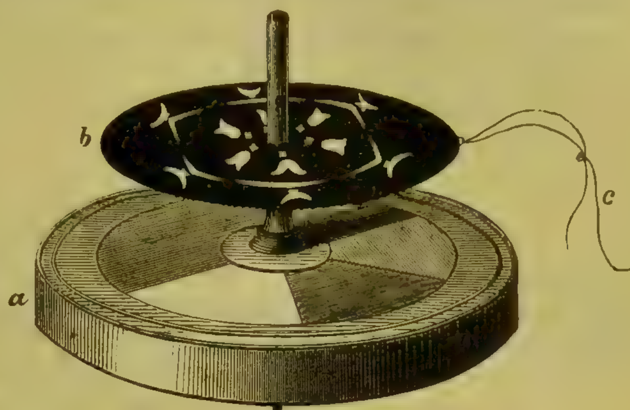


Fig. 190.

fangs über einander standen, ist also nach der Zeit t der untere um den gen $2\pi (n-m) t$ voraus, und daraus folgt, dafs durch die Öffnung der eren Scheibe zur Zeit t ein Theil der unteren Scheibe gesehen wird, der um den gen $2\pi (m-n) t$ auf dieser von dem anfangs gesehenen Puncte entfernt ist, wobei sitive Bogen im Sinne der Drehung, negative rückwärts zu rechnen sind. Wenn also $= \frac{1}{n-m}$ geworden ist, werden sämmtliche Farben der unteren Scheibe einmal in der fnung der oberen erschienen sein, und ihre Reihe wird wieder vom Anfang beginnen, d sich wiederholen. Während dieser Zeit ist aber die Öffnung selbst um den Bogen $mt = 2\pi \frac{m}{n-m}$ fortgerückt, und die Reihe der Farben, wie sie sich in der Öffnung gten, mufs über diesen Bogen ausgebreitet erscheinen, und zwar in umgekehrter Ordnung, sie auf der Scheibe stehen, wenn, wie in dem beschriebenen Apparate der Fall ist, $> m$. Dieselbe Reihe von Farben folgt nun wieder, während die Öffnung sich über en zweiten, dritten u. s. w. Bogen von der Länge $2\pi \frac{m}{n-m}$ fortbewegt. Ist nun

$$\frac{m}{n-m} = \frac{1}{p}, \quad \text{also } n = (p+1)\, m$$

d p eine ganze Zahl, so wird sich nach einem ganzen Umlauf der oberen Scheibe die rbenreihe in der Öffnung gerade p Male wiederholt haben und bei jedem folgenden nlauf, wie beim ersten, genau an derselben Stelle wieder erscheinen. Es erscheint dann der oberen Scheibe ein ruhender farbiger Ring mit $p$maliger Wiederholung der rben der unteren Scheibe. Ist p nicht genau gleich einer ganzen Zahl, so werden die e der Farben beim zweiten Umlaufe nicht mehr ganz genau mit denen des ersten nlaufs zusammenfallen, der Farbenring wird sich fortzubewegen scheinen.

Wenn $$\frac{m}{n-m} = \frac{2}{2p+1}, \quad \text{also } n = \left(p + \frac{3}{2}\right) m$$

d p eine ganze Zahl ist, so werden beim zweiten Umlaufe die Farben neue Orte einmen, beim dritten aber dieselben wie beim ersten, beim vierten wie beim zweiten, so s doch eine ruhende Farbenerscheinung entstehen kann, wenn nur der Kreisel schnell ug läuft, dafs der Eindruck auf das Auge die Zeit zweier Umläufe der Öffnung überert. Man erhält dann eine $(2p+1)$ malige Wiederholung der gleichen Farbenfolge, e selbst ist aber nicht mehr gleich der Folge der Farben der unteren Scheibe, sondern

stellt die Mischungen je zweier Farben dieser Scheibe dar, welche auf den entgege gesetzten Hälften derselben Durchmesser liegen. Wenn z. B. $p = 1$, also $\frac{m}{n-m} = \frac{2}{3}$ so wird die Anfangsfarbe wiedererscheinen bei

352 0^0
240
480 d. h. 120^0
720 „ 0
960 „ 240
u. s. w.,

also immer wieder bei 0^0, 120^0, 240^0. Die Farbe dagegen, welche auf der unter Scheibe auf der anderen Hälfte desselben Durchmessers steht, wird in der Mitte dies Bogen erscheinen, also bei

120^0
360 d. h. bei 0^0
600 „ 240
u. s. w.,

d. h. an denselben drei Stellen, wird sich also mit der ersten Farbe mischen.

Im Allgemeinen ergiebt sich leicht, dafs, wenn der Bruch $\frac{m}{n-m}$ in kleinsten ganz Zahlen ausgedrückt, gleich $\frac{q}{p}$ ist, und der Eindruck im Auge q Umdrehungen der obei Scheibe überdauert, man p Wiederholungen einer Folge von Farben sieht, die e stehen, indem je q äquidistante Farben der unteren Scheibe gemischt werden. Dau der Eindruck im Auge aber nicht so lange, so erscheinen die Farben hin- und h springend.

Wenn man die Form, Zahl und Gröfse der Öffnungen in der oberen Scheibe vari entstehen auf diese Weise natürlich sehr bunte kaleidoskopische Bilder. Diese Bil werden bei dem Kreisel der *Fig. 190* noch bunter und erhalten sehr feine Zei nungen dadurch, dafs eigenthümliche Oscillationen der oberen Scheibe eintreten. M hört nämlich ein lautes Schnarren des Kreisels, sobald man die obere Scheibe aufgel hat, und wenn man als untere Scheibe eine rein weifse gewählt hat: so sieht man Figur der oberen Scheibe nicht sich in ein System concentrischer Kreislinien verwande wie es sein müfste, wenn die obere Scheibe mit gleichmäfsiger Geschwindigkeit roti sondern man sieht eine grofse Zahl von Wiederholungen der eingeschnittenen Fig Dies läfst schliefsen, dafs die Rotationsbewegung der oberen Scheibe in regelmäfsi Abwechselung verzögert und beschleunigt ist. Diese Oscillationen müssen durch Reibung der oberen Scheibe an der Axe hervorgebracht sein. Aufserdem findet zweites System von Oscillationen statt, wobei der Mittelpunct der oberen Scheibe h zontal hin- und hergeht, was man aus gewissen Eigenthümlichkeiten der Figur, wie über weifser Unterlage erscheint, erkennen kann.

Regelmäfsiger zeigt das von PLATEAU construirte Anorthoskop diese Erscheinun Zwei kleine Rollen von verschiedenem Durchmesser, deren Axen in derselben gera Linie unmittelbar hinter einander liegen, werden durch zwei unendliche Schnüre her getrieben, welche beide um die Peripherie derselben gröfseren Scheibe laufen; letzt wird mittels einer Kurbel bewegt. An der einen Rolle ist eine transparente Scheibe festigt, auf der sich eine verzerrte Zeichnung befindet, an der anderen eine schwa Scheibe mit einem oder mehreren Spalten. Wenn man die Scheiben rotiren läfst, kon die richtige Zeichnung zum Vorschein.

Wir haben gesehen, dafs, wenn m die Zahl der Umläufe des Schirmes in der Secu bezeichnet, und n die der Zeichnung, dafs auf einem Bogen $2\pi \frac{m}{n-m}$, den ein Punct spaltförmigen Öffnung des Schirmes durchläuft, alle die Puncte der Zeichnung der Re

nach erscheinen, die ebenso weit wie jener Punct vom Mittelpuncte entfernt sind. In dem Zerrbilde des Objects auf der transparenten Scheibe nehmen aber diese Puncte die ganze Peripherie ein. Denkt man sich also in dem Original und seinem Zerrbilde die Puncte durch Polarcoordinaten gegeben, nämlich durch ihre Entfernung vom Mittelpuncte der Scheibe ϱ und durch den Winkel ω, den der Radius Vector mit einem festen Radius bildet, und nennen wir ϱ_0 und ω_0 die Werthe für die richtige Zeichnung, ϱ_1 und ω_1 für die verzerrte, so ist.

$$\varrho_0 = \varrho_1$$ 353

$$\omega_0 : \omega_1 = m : (m-n).$$

Mit Hülfe dieser Gleichungen kann die verzerrte Zeichnung construirt werden, indem man die Winkel ω in dem angegebenen Verhältnisse verändert. Damit bei jedem Umlauf der Scheiben dieselben Figuren wieder sichtbar werden, mufs wie früher der Bogen $2\pi\frac{m}{m-n}$ ein aliquoter Theil der Peripherie sein, also $\frac{m}{m-n}$ eine positive oder negative ganze Zahl.

Sind die Scheiben beide gleichläufig, also m und n positiv, $n > m$, so haben ω_0 und ω_1 entgegengesetztes Zeichen, müssen also nach entgegengesetzter Richtung gelegt werden. Es wird $\frac{m-n}{m} = 1 - \frac{n}{m}$ eine negative ganze Zahl, wenn $\frac{n}{m}$ eine ganze Zahl p ist, d. h. die transparente Scheibe p ganze Umläufe macht, während die dunkle Scheibe einen macht. Das Bild wiederholt sich $(p-1)$ Male auf dem Umfang der Scheibe. Man kann in diesem Falle p äquidistante radiale Spalten in der schwarzen Scheibe anbringen.

Wenn die beiden Scheiben in entgegengesetzter Richtung umlaufen, also $m = -\mu$ ist, so wird

$$\omega_0 : \omega_1 = \mu : (n + \mu).$$

Die beiden Winkel sind also nach der gleichen Seite hin zu nehmen. Wenn $\frac{n}{\mu} = p$ und p eine ganze Zahl, so wird die Zahl der Bilder gleich $p + 1$, und man kann wieder p Spalten in der dunklen Scheibe anbringen.

Wenn endlich die Rotationen gleichläufig sind, m und n also positiv, aber $m > n$, so bekommen ω_0 und ω_1 wieder dasselbe Zeichen, aber während in den bisherigen Fällen ω_1 gleich oder gröfser als ω_0 war, wird es nun kleiner. In den bisher beschriebenen Fällen konnte das Zerrbild die ganze Peripherie des Kreises einnehmen, jedes einzelne richtige Bild nahm dann nur einen aliquoten Theil der Peripherie ein. In dem jetzigen Falle aber ist der höchste Werth von ω_0 offenbar 2π, und demgemäfs der höchste von $\omega_1 = \left(1 - \frac{n}{m}\right) 2\pi$. Es kann das Zerrbild deshalb auch auf der transparenten Scheibe mehrmals wiederholt werden, ja es wird vortheilhaft sein, es zu wiederholen, um mehr Licht zu erhalten. Damit dann immer dieselbe Erscheinung wiederkehre, mufs der bezeichnete Maximalwerth von ω_1 ein aliquoter Theil der Peripherie sein, d. h. $\frac{m}{m-n}$ mufs eine ganze Zahl p sein, also

$$\frac{n}{m} = \frac{p-1}{p}.$$

Dabei ist die Anzahl der möglichen Wiederholungen des Zerrbildes p, das richtige Bild einfach. Die Zahl der Spalten kann gleich $p - 1$ gemacht werden.

Man kann aber auch in diesem Falle die Spalte einfach lassen, und das Zerrbild in seinen Wiederholungen etwas verändern, so dafs es verschiedene Momente einer Bewegung darstellt, dann erhält man ein richtiges Bild, was diese Bewegung auszuführen scheint.

Sollen die geforderten Verhältnisse der Umdrehungszahlen *m* und *n* genau eingehalte werden, so kann man dies nur erreichen, wenn man die Axen durch Zahnräder in B wegung setzt. Bei den Rollen stimmen die Verhältnisse der Durchmesser und die B. schaffenheit der Fäden nie so genau überein, daſs nicht allmälig kleine Abweichunge von dem geforderten Verhältnisse eintreten, und dann drehen sich die restaurirten Bilde auf der Scheibe allmälig um deren Mittelpunkt. Diese unvermeidliche Ungenauigkeit de Schnurläufe hat PLATEAU übrigens benutzt, um einen sehr allmäligen Farbenwandel he vorzubringen, indem er zwei Rollen aufsetzt, welche, so gut es geht, einander gleic gemacht sind, an der einen eine transparente Scheibe mit gleich breiten farbigen Se toren befestigt, an der anderen eine schwarze Scheibe, in der ein oder zwei gleicl Sectoren ausgeschnitten sind. Wenn die Oeffnung anfangs gerade vor einem der farbige Sectoren der hinteren Scheibe steht, wird bei der Rotation das ganze Feld in dies
354 Farbe erscheinen, allmälig aber werden sich die Scheiben gegen einander verschiebe es wird von einem anderen Sector der farbigen Scheibe anfangs wenig, allmälig imm mehr frei werden, und dessen Farbe daher sich stärker und stärker einmische während die des ersten in demselben Verhältnisse verschwindet. So erhält man ein sehr leise und allmälig eintretenden Farbenwandel.

Es gehören hierher auch noch gewisse Curven, welche erscheinen, wenn zwei Reihe von geraden oder gekrümmten Stäben sich hinter einander bewegen. Das ers Beispiel davon, welches Aufsehen erregte, waren gewisse Figuren, welche an den Rädern ein Wagens erscheinen, wenn ein solcher hinter einem Gitter vorbeifährt.[1] Am einfachst von den hierher gehörigen Fällen ist die von FARADAY beobachtete Erscheinung. lieſs zwei gleiche Zahnräder hinter einander in entgegengesetzter Richtung schn rotiren, so daſs ihre Axen in einer geraden Linie lagen. Während nun von jede einzeln gesehen, die Zähne wegen der Schnelligkeit der Bewegung verschwinde sah er ein Rad mit doppelt so viel Zähnen stillstehen, wenn er sie so betrachtete, d. die eine Zahnreihe durch die andere hin erschien. Denken wir uns die Zähne h auf dunklem Grunde, so wird durch die schnell umlaufenden hellen Zähne jedes einzeln Rades eine gewisse Menge Licht über den Grund scheinbar gleichmäſsig ausgebreit und durch beide Zahnreihen zusammen die doppelte Menge Licht an solchen Stellen d Grundes, wo hinter einander bald von der einen, bald von der anderen Reihe ein Za hinüberläuft. Wo aber ein Zahn der vorderen Reihe einen solchen der hinteren dec wird für den Augenblick das Licht des hinteren hinweggenommen, weil es nicht a Auge des Beobachters kommen kann, und eine solche Stelle scheint dem Beobach deswegen nur halb so stark beleuchtet, als die benachbarten, wo die beiden Zähne gestört nach einander ihr Licht in das Auge senden. Somit erscheinen in dem hel Scheine, den die Zahnreihen geben, diejenigen Stellen dunkler, wo bei der Beweg der Räder je zwei Zähne zur Deckung kommen. Ist nun ω der Winkelabstand der Zäh und gehen wir von einer Stellung der Räder aus, wo die Zähne sich decken, so w eine zweite Deckung zu Stande kommen, wenn das eine Rad sich um $\frac{1}{2}\,\omega$ nach rec das andere um ebenso viel nach links gedreht hat. Die dunklen Streifen werden nur den Winkelabstand $\frac{1}{2}\,\omega$ haben, und ihre Anzahl wird daher doppelt so groſs s als die der Zähne. Das eine Rad kann man auch weglassen, wie BILLET SÉLIS beme wenn man hinter das erste einen Hohlspiegel stellt, der ein mit dem Objecte zusamm fallendes, aber verkehrtes Bild dieses Rades entwirft. Sehr hübsch läſst sich auch d Methode anwenden, um die Art, wie sich ein Wasserstrahl in Tropfen auflöst, sicht zu machen.

Eine ähnliche Erscheinung beobachtete EMSMANN an dem bekannten Abplattu modell, welches aus zwei elastischen Messingringen besteht, die zwei gegen einan

---

[1] ROGET in *Phil. Transact.* 1825. I. 131. *Pogg. Ann.* V. 93. PLATEAU ebenda XX. 316. FARADAY ebenda XXII. 601. 1831. EMSMANN ebenda LXIX. 326.

enkrechten Meridiankreisen der Erde entsprechen und um die der Erdaxe entsprechende
Linie schnell gedreht werden, wobei sie durch die Centrifugalkraft eine elliptische Gestalt
nnehmen. Da sie das Licht stark reflectiren, verbreiten sie bei schneller Rotation
inen Lichtschein über die Kugelfläche, die sie beschreiben, und darin erscheinen dunkle
Linien an den Stellen, wo bei der Rotation ein vorderes Bogenstück ein hinteres bedeckt.
Das allgemeine Princip dieser Erscheinungen hat PLATEAU ausgesprochen. Wenn zwei
rleuchtete Curven sich durch das Gesichtsfeld so schnell bewegen, dafs sie eine schein-
ar continuirliche Beleuchtung der Fläche zurücklassen, so erscheint eine dunkle Linie
n diesem lichten Felde, welche die Punkte verbindet, in denen sich nach einander die
Curven geschnitten haben, vorausgesetzt, dafs das Licht der einen Curve die andere
icht durchdringen kann.

Zur Geschichte: Die Dauer des Lichteindrucks wurde von NEWTON[1] gleich einer
ecunde geschätzt, später genauer gemessen von SEGNER,[2] der 30 Tertien, D'ARCY,[3] der
Tertien, CAVALLO,[4] der 6 Tertien als längste Dauer des Eindrucks einer im Kreise ge- 355
chwungenen glühenden Kohle fand. PARROT[5] fand, dafs der Eindruck in einem hellen
immer kürzere Zeit währe, als in einem dunkeln. Daran schliefsen sich dann die
päteren Messungen von PLATEAU[6] über die verschiedene Dauer der Eindrücke verschie-
ener Farben, und EMSMANN.[7]

Farbenkreisel erwähnt MUSSCHENBROEK,[8] ohne einen älteren Beobachter zu nennen.
esondere Formen sind beschrieben durch E. G. FISCHER,[9] LÜDICKE,[10] BUSOLT.[11]

Die fast gleichzeitige Erfindung der stroboskopischen Scheiben durch
LAEEAU und STAMPFER zu Ende des Jahres 1832 ist schon oben erwähnt. Die Con-
ruction des Anorthoskops durch PLATEAU[12] fällt in den Januar 1836. Letzterer hat
ich die Theorie der hierher gehörigen Erscheinungen vielfältig und ausführlich be-
beitet.

§ 23. Die Veränderungen der Reizbarkeit.

Wir haben gesehen, dafs nach der Einwirkung von Licht auf die Netz- 356
ut der Zustand von Reizung im Sehnervenapparate noch eine Zeit lang
hält. Diese Nachdauer des Eindrucks nimmt man nach der Betrachtung
ller Gegenstände am ungestörtesten wahr, wenn man das Auge auf ein
nz dunkles Gesichtsfeld richtet. Aufserdem zeigt sich aber, dafs nach
nwirkung hellen Lichts auf irgend eine Stelle der Netzhaut diese nun auch
u von aufsen einfallendes Licht in einer anderen Weise empfindet, als es 357
 vorher nicht afficirten Theile der Netzhaut thun. Wir haben es also
r auch mit einer durch Einwirkung des Lichtes veränderten Empfäng-
hkeit des Sehnervenapparates gegen neue äufsere Reize zu thun.

Wir wollen im vorliegenden Paragraphen hauptsächlich aufsuchen, welche
pfindungen entstehen, wenn die von vorausgegangenem hellen Lichte affi-

1 NEWTON, *Optice.* Quaestio XVI.
2 SEGNER, De raritate luminis. Gott. 1740.
3 D'ARCY, *Mem. de Paris.* 1765. p. 450.
4 CAVALLO, Naturlehre, übers. von TROMMSDORF III. 132.
5 PARROT, *Entretiens sur la Physique.* Dorpat 1819—24. III. 235.
6 PLATEAU, Pogg. Ann. XX. 304—324. 1829.
7 EMSMANN, Pogg. Ann. XCI. 611. 1854.
8 MUSSCHENBROEK, Introd. ad philos. natur. § 1820. 1762.
9 E. G. FISCHER, Lehrbuch der mechanischen Naturl. Berlin 1827. II. 267.
10 LÜDICKE, Gilbert's Ann. V. 272. 1800. und XXXIV. 42. 1810.
11 BUSOLT, Pogg. Ann. XXXII. 656. 1833.
12 PLATEAU, *Bull. de Brux.* 1836. III. 7. Derselbe in Pogg. Ann. XX. 319—543. 1829. XXXII.
1833. XXXVII. 464. 1836. LXXVII. 563. LXXIX. 269. 1849. LXXX. 150. 287. 1849.

cirte Parthie der Netzhaut von anderem äufseren Lichte getroffen wird. Ic bemerke jedoch gleich, dafs auch ein Theil der Erscheinungen hierhergezoge werden mufs, welche im scheinbar dunkeln Gesichtsfelde erscheinen, weil e nämlich in Wirklichkeit kein absolut dunkles Gesichtsfeld giebt, vielmel auch bei vollständigem Ausschlufs alles äufseren Lichtes doch immer noc eine gewisse schwache Reizung der Netzhaut durch innere Einflüsse bestehe bleibt, welche das schon im § 17 erwähnte Lichtchaos oder Eigenlicl des dunkeln Gesichtsfeldes hervorbringt. Die Reizempfänglichkeit d Netzhaut erscheint nun gegen diese inneren Reize in derselben Weise a geändert, wie gegen objectives Licht, und es gehören deshalb zu unsere gegenwärtigen Gegenstande auch Erscheinungen, die im dunkeln Gesichtsfel eintreten, nachdem der Zustand der Reizung der Netzhaut ganz aufgehö hat. Ich bemerke hierbei noch, dafs in hellen Räumen der Schlufs d Augenlider allein nicht hinreicht, das Gesichtsfeld von allem objectiven Lich frei zu machen, wie man leicht an der weiteren Verdunkelung merkt, welc eintritt, wenn man die Augen nun zukneift, oder die Hand davor legt. in directer Sonnenbeleuchtung reicht es noch nicht einmal hin, nur die Ha vorzulegen, weil auch durch diese noch eine wahrnehmbare Quantität roth Lichtes hindurchdringt. Wenn also im Folgenden von einem ganz dunk Gesichtsfelde die Rede ist, so ist darunter immer nur zu verstehen das G sichtsfeld, wie es in einem absolut dunkeln, von allen Spuren objectiv Lichts geschützten Zimmer sich findet, oder wie es in einem hellen Zimn entsteht, wenn man die Augen schliefst, und jedes Auge dicht, aber oh Druck mit einer Handfläche oder einem dunkeln undurchsichtigen Tuc bedeckt.

Ich werde ferner im Folgenden dasjenige Licht, welches zuerst auf Netzhaut eingewirkt und deren Reizempfänglichkeit verändert hat, das p märe Licht nennen, das später auf die veränderte Netzhautstelle einwirkei dagegen das reagirende Licht, weil es für uns gleichsam ein Reagenz durch welches wir die Reizbarkeit der Netzhaut prüfen.

Die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen dieses Gebietes ist nun s grofs, und obgleich eine ziemliche Anzahl ausgezeichneter Beobachter da gearbeitet hat, ist es noch in vielen Theilen unsicher und lückenhaft. Schwierigkeit liegt darin, dafs zuerst jeder Beobachter, der sich daran ma eine gewisse Zeit braucht um sich genügend zu üben, die hierher gehöri Erscheinungen sicher aufzufassen und zu beurtheilen, und dabei meist diese Versuche schnell die Augen so angreifen, dafs bei einzelnen Beobacht die sie zu lange fortgesetzt haben, schwere und gefährliche Augen- Nervenkrankheiten eingetreten sind. Es haben deshalb die meisten Be achter bisher nur eine verhältnifsmäfsig geringe Menge von Thatsachen se bestätigen und neu entdecken können, und auch jedem künftigen Beobach
358 welcher dergleichen Versuche machen will, ist anzurathen an jedem einzel Tage nur sehr wenige Versuche dieser Art zu machen, und die Versu reihen für längere Zeit abzubrechen, sobald er bemerkt, dafs nach den V

suchen oder überhaupt beim Ansehen hellen Lichtes oder lebhafter Farben sich leichte Schmerzen in den Augen oder im Kopfe einstellen, oder wenn die Nachbilder anfangen, lebhafter und dauernder zu werden, als sie im gesunden Auge sind.

Wir unterscheiden positive und negative Nachbilder in derselben Weise, wie man bei den Photographien von positiven und negativen Bildern redet. Positive Bilder sind solche, in denen die hellen Parthien des Objects ebenfalls hell, die dunkeln dunkel sind, negative Bilder dagegen solche, in denen die hellen Parthien des Objects dunkler, die dunkeln heller erscheinen.

Ich werde den Gang der Erscheinungen nun zunächst beschreiben, indem ich nur auf die Lichtstärke, nicht auf den Wechsel der Farben Rücksicht nehme, welcher den Wechsel der Helligkeit in den meisten Fällen begleitet, und seine Erklärung wahrscheinlich darin findet, dafs für die verschiedenen Farben die Dauer der einzelnen Stadien der Erscheinung verschieden ist. Um den normalen Verlauf der Nachbilder ungestört zu beobachten, ist es nothwendig zunächst die Netzhaut von den Nachbildern der früheren Lichteindrücke zu befreien, wozu es gewöhnlich nöthig ist und genügt, einige Minuten mit dicht bedeckten Augen zu sitzen, bis man im dunkeln Gesichtsfelde nichts mehr vor sich sieht als das Lichtchaos, dessen eigenthümliche Muster (meist gleichsam helle Gerinnsel durch baumartig und netzförmig vertheilte dunkle Streifen getrennt) man bald kennen lernt. Wenn man keine Bruchstücke von Zeichnungen äufserer Gegenstände mehr sieht, und auch beim Eindringen ganz schwachen Lichts durch die geschlossenen Augenlider keine mehr sichtbar werden, ist das Auge vorbereitet, um den Eindruck zu empfangen.

Richtet man nun die Augen eine kurze Zeit auf einen hellen Gegenstand, z. B. die helle Fensterfläche, am besten so, dafs man die Richtung der Augen unverändert läfst und sie nur auf- und zudeckt, so bleibt unmittelbar hinterher ein positives Bild des primären hellen Objects stehen, wie dies schon im vorigen Paragraphen besprochen ist. Dieses Bild ist desto schärfer und deutlicher, je weniger die Richtung der Augen verändert worden ist, und seine Helligkeit finde ich am gröfsten, wenn die Bestrahlung der Netzhaut durch das primäre Licht etwa nur $1/3$ Secunde gedauert hat. Die Erscheinungen des vorigen Paragraphen haben gelehrt, dafs die Stärke der Reizung durch das Licht während der ersten Zeitmomente seiner Wirkung zunimmt; aber sie erreicht sehr schnell ihr Maximum. Dauert die Bestrahlung länger als $1/3$ Secunde, so nimmt die Stärke des Nachbildes, welche der Intensität der zurückbleibenden Reizung der Sehnervensubstanz entspricht, schnell wieder ab, wovon wir den wahrscheinlichen Grund später nachweisen werden. Je gröfser übrigens die Intensität des primären Lichtes ist, desto heller ist das positive Nachbild, und desto länger dauert es. Dabei ist zu bemerken, dafs im positiven Nachbilde oft auch Grade der Helligkeit unterscheidbar werden, welche beim directen Anblick wegen zu grofser

359 Helligkeit nicht unterschieden wurden. Dreht man z. B. eine Lampe i rundem Docht schnell aus, während man nach der erlöschenden Flam hinblickt, so erkennt man im Nachbilde die gröfsere Helligkeit der Ränd im Vergleich zur Mitte der Flamme, welche man (siehe § 21) bei d directen Betrachtung schwer bemerkt. Dieselbe Bemerkung machte au Aubert bei den Nachbildern des elektrischen Funkens, welcher, direct g sehen, als ein verwaschener Lichtstreif, im Nachbilde als eine scharf gezei nete Linie erschien. Man kann übrigens auch von sehr mäfsig erleuchtet Gegenständen, z. B. von weifsem Papier, welches die zum Schreiben u Lesen bequeme Helligkeit hat, nach der beschriebenen Methode noch po tive Nachbilder gewinnen, die eine erkennbare Dauer von etwa zw Secunden haben, während im Gegentheil das helle Nachbild der Sonne mehrere Minuten lang stehen bleibt.

Um die positiven Nachbilder recht schön zu haben, beachte man no folgende Regeln. Während ihrer Erzeugung und ihrer Dauer mufs m sorgfältig jede Bewegung des Auges und jede heftigere Bewegung des Körpe vermeiden, weil sie bei einer solchen stets für einige Zeit verschwind Nachdem man also genügende Zeit mit dicht bedeckten Augen gesessen h richte man unter den bedeckenden Händen die Augen nach der Richtu des Objects und bemühe sich, sie ganz unverrückt zu halten, während m die Hände schnell wegzieht und ebenso schnell wieder überdeckt. Die Bewegung der Hände mufs aber leise und leicht, ohne starke Anstrengu und Erschütterung des Körpers ausgeführt werden. Wenn man dies V fahren gut eingeübt hat, so gelingt es zuweilen das positive Nachbild unt den bedeckenden Händen so scharf und hell zu sehen, dafs es den Eindru macht, als wären die Hände durchsichtig, und man sähe die wirklich Objecte. Man hat Zeit genug, an diesen Nachbildern noch eine Men einzelner Umstände zu bemerken, auf welche zu achten man während d wirklichen Betrachtung nicht Zeit hatte. Die lichtschwachen Flächen ve schwinden am schnellsten, ohne ihre Farbe wesentlich zu verändern, d helleren bleiben längere Zeit stehen, wobei ihre Farbe durch bläuliche Tö in ein violettes Rosa, später Gelbroth übergeht. Zur Zeit, wo die heller Stellen aus Blau in Violett übergehen, wird die Zeichnung des Nachbild oft ziemlich undeutlich, weil, wie mir scheint, die hellen Theile dann ve hältnifsmäfsig mehr an Licht verloren haben als die schwächer beleuchtete und beide in ihrer Beleuchtung sich ziemlich nahe gekommen sind, u weil wir überhaupt, wie im folgenden Paragraphen noch näher zu besprech ist, nur wechselnde Erregungszustände der Netzhaut gut von einander unte scheiden, für einen constanten Erregungszustand aber schnell das Unte scheidungsvermögen verlieren. Später werden in den positiven Nachbilde die weniger hellen Gegenstände ganz dunkel, und die helleren bleiben no längere Zeit, jetzt rosa gefärbt, allein sichtbar. Sehr auffallend war e wenn ich das Nachbild eines hellen Teppichs betrachtete, über welchen vo Fenster her ein Streifen Sonnenlicht fiel. Es trat eine Zeit ein, wo ich d

Muster des Teppichs vollständig sah, aber überall gleich hell, so dafs der Streifen Sonnenlicht sich nicht mehr bemerklich machte. Nachher verschwand das Muster des Teppichs, während die Figur des genannten helleren Streifen nun wieder in rosarothem Lichte erschien und bis zuletzt stehen blieb. Es 360
kann daher auch wohl bei bestimmten Beleuchtungsgraden die Zeichnung des Bildes ganz oder theilweis sehr undeutlich werden, und nachher wieder deutlicher, also scheinbar das Bild fast verschwinden und nachher sich wieder aufklären. Wenn man aber genau aufpafst, wird man bemerken, dafs der Grund des Bildes zur Zeit der Verwirrung der Zeichnung merklich heller ist, als wenn nacher die hellsten Stellen auf ganz schwarzem Grunde abgezeichnet wieder erscheinen. Es ist deshalb in solchen Fällen nicht der Lichteindruck verschwunden und wiedergekommen, sondern nur der Unterschied zwischen hellen und helleren Stellen für einige Zeit kleiner geworden und, die Fähigkeit ihn wahrzunehmen, verschwunden, bis neuer Wechsel in Färbung und Helligkeit des Nachbildes dieses wiederherstellen. Übrigens habe ich stets an Bildern, welche viele verschieden helle Objecte enthielten, gesehen, dafs die einzelnen Objecte desto später aus dem positiven Bilde gänzlich verschwanden, je heller sie waren. Bei schwachen Nachbildern, wie diejenigen wohl waren, welche Aubert nach der Beleuchtung der Objecte durch den elektrischen Funken erhielt, hat dieser Beobachter jedoch gefunden, dafs nach schwachen Funken die positiven Nachbilder länger dauerten, als nach starken Funken.

Hat man dagegen beim Auf- und Zudecken des Auges dieses kräftig ewegt, oder gedrückt, oder erschüttert, so sieht man im ersten Moment n verwirrtes Lichtchaos, aus dem sich dann erst allmälig das Nachbild ntwickelt. Ebenso wird das schon entwickelte Nachbild durch Bewegung, rschütterung, Druck, äufseres Licht zeitweise oder ganz aufgehoben.

Wenn das äufsere Licht nur sehr kurze Zeit eingewirkt hatte, nicht blendend ar, und das Gesichtsfeld ganz frei von allen Spuren äufseren Lichts gehalten ird, verschwindet das positive Bild gewöhnlich, ohne in ein negatives überzuhen. Wenn man aber, während das positive Nachbild noch besteht, oder ch etwas später, das Auge gegen gleichmäfsig beleuchtete Flächen kehrt, er auch nur mit geschlossenen Lidern sich nach einer hellen Umgebung ndet, erscheint ein negatives Nachbild. Je stärker das positive Nachbild , desto stärker mufs auch das reagirende Licht gemacht werden, um es ein negatives Bild zu verwandeln. Es giebt immer eine gewisse Stärke s reagirenden Lichts, bei welcher das positive Bild einfach verschwindet, ne negativ zu werden. Ist das reagirende Licht stärker, so entsteht ein gatives Bild; ist es schwächer, so bleibt das Bild positiv und wird nur deutlicher. Mit wachsender Stärke des reagirenden Lichts wächst übrigens h die Deutlichkeit des Nachbildes, bis jene Lichtstärke den Grad überreitet, der für Erkennung von Differenzen der Lichtstärke um kleine ichtheile am günstigsten ist, um dann wieder abzunehmen. Man kann nit auch Nachbilder erhalten von schwächerem primitiven Lichte auf

stärkerem reagirenden, nur mufs man auf sie gut aufpassen, weil sie se schnell vergehen. Auch nachdem das positive Bild geschwunden ist, ble auf hellen Flächen das negative Nachbild noch kurze Zeit sichtbar, ind es ebenfalls allmälig erblafst und verschwindet, ja es kann sogar im ga dunkeln Gesichtsfelde sichtbar werden, indem es hier als eine Verminderu der Helligkeit des Eigenlichts der Netzhaut erscheint. In der Regelersche
361 dann dieses Eigenlicht selbst in der nächsten Umgebung des dunklen Na bildes durch Contrast mit diesem etwas heller.

Gröfsere Intensität des primären Lichts giebt dem negativen Nachbil eine gröfsere Deutlichkeit und Dauer. Auch unterscheiden sich im Na bilde diejenigen Theile eines als primär beleuchtendes Object gebraucht blendend hellen Gegenstandes, welche eine objectiv verschiedene, für Empfindung aber nicht verschiedene Lichtstärke haben. Ich habe gesehen, wenn ich nach der untergehenden Sonne geblickt hatte, dafs Geg stände, die einen Theil der Sonnenscheibe bedeckten, im negativen Na bilde deutlich zu erkennen waren, von denen beim directen Anblick Sonne wegen der Irradiation keine Spur zu erkennen war. Selbst kle Gegenstände, Zweige und Blätter von Bäumen können auf diese Weise na träglich sichtbar werden. Die Reizempfänglichkeit derjenigen Netzhautthe welche das Bild der Sonnenscheibe selbst aufgenommen haben, ist a nachher stärker verändert, als sie es in den Netzhautstellen ist, welche den Zerstreuungskreisen und dem diffus verbreiteten Lichte getroffen war obgleich die ursprüngliche Empfindung beider sich nicht unterscheiden li Eben deshalb sind Nachbilder der Sonne anfangs gewöhnlich gröfser, als Sonnenscheibe, und werden später kleiner, indem sich anfangs noch Nachbild der Zerstreuungskreise am äufseren Rande der Sonne hin gesellt, welches aber schneller negativ wird und endlich früher schwind als das der Mitte des Sonnenkörpers, wo die volle Helligkeit desselben gewirkt hat.

Der Einflufs der Dauer der primären Bestrahlung ist für das negat Nachbild ein anderer, als für das positive. Nämlich die Stärke des negati Nachbildes nimmt zu mit der Dauer der Bestrahlung, und scheint sich e bei längerer Dauer asymptotisch einem gewissen Maximum zu nähe Durch lange Dauer sehr starker Bestrahlung kann sogar eine bleibe Veränderung der betreffenden Netzhautstelle entstehen, wie dies Ritt erfuhr, als er 10 bis 20 Minuten lang direct in die Sonne gesehen hat Zur Erzeugung deutlicher negativer Nachbilder ist es deshalb nützlich, primäre Bestrahlung länger (bei mäfsigem Licht etwa 5 bis 10 Secund dauern zu lassen. Dann ist das positive Nachbild schwach und schwin schnell, das negative dagegen stärker und dauert länger. So z. B. schwin wenn man helle Wolken durch das Fenster etwa $1/3$ Secunde lang betrach hat, das positive Nachbild nach etwa 12 Secunden, das negative

---

[1] Ritter, Beiträge zur näheren Kenntnifs des Galvanismus. 1805. Bd. II. S. 175—181.

hellerem Grunde nach etwa 24 Secunden. Wenn ich dasselbe Object dagegen 4 oder 8 Secunden betrachtete, schwand das negative Nachbild erst nach 8 Minuten. Ich hielt das Gesichtsfeld dabei ganz dunkel und liefs nur von Zeit zu Zeit schwaches Licht durch die geschlossenen Lider einfallen, um zu prüfen, ob das Nachbild noch da sei. Um das negative Nachbild recht scharf gezeichnet zu erhalten, ist es nothwendig, während der Dauer der Bestrahlung scharf einen bestimmten Punkt des hellen Objects zu fixiren. In dem negativen Nachbilde ist es noch besser als in dem flüchtigeren positiven möglich nachträglich Einzelheiten zu erkennen, die man bei der directen Beschauung nicht bemerkt hatte. Hat man nach einander zwei verschiedene Punkte des Objects fixirt, so erkennt man auch nachher 362
zwei sich theilweis deckende Nachbilder. So kann man auch im Nachbilde, wenn im Gesichtsfelde die Sonne steht, und man den Blick schnell über das Feld hinschweifen liefs, den ganzen Weg abgebildet erhalten, den das Sonnenbildchen auf der Netzhaut zurückgelegt hat. Hat man den Blick auf einzelnen Stellen des Feldes einen Augenblick festgehalten, so entsprechen diesen Punkten intensivere runde Nachbilder der Sonne, welche länger positiv bleiben, und wenn sie negativ geworden sind, dunkler werden und länger dauern. Diese sind verbunden durch schmalere verwaschene Streifen, welche anfangs zwar auch hell sind, sich aber bald negativ dunkler zeigen, und desto schwächer gezeichnet sind, je gröfser die Geschwindigkeit der Augenbewegung für die betreffende Stelle gewesen war. Diese Streifen sind schmaler als die Sonnenscheibe und am Rande verwaschen, weil über die ihrem Rande entsprechenden Netzhauttheile nur eine Sehne des runden Sonnenbildes hingeglitten ist, über die mittleren dagegen ein Durchmesser, auf letztere also das Sonnenlicht länger gewirkt hat.

Positive wie negative Nachbilder bewegen sich, wenn das Auge bewegt wird. Ihre scheinbare Lage im Gesichtsfelde entspricht immer dem Orte, wo ein Object sich befinden müfste, dessen Bild auf die von dem primären Lichte getroffene Netzhautstelle fallen sollte. Ist also der gelbe Fleck von starkem Lichte getroffen worden, so befindet sich das Nachbild, wo man auch hinsehen möge, immer im Fixationspunkte des Auges und hindert, wenn es stark ist, feinere Gegenstände zu erkennen. Liegt ein kräftig gezeichnetes Nachbild dicht neben dem Fixationspunkte, so verleitet es den Beschauer leicht, es fixiren zu wollen, das Auge wendet sich nach dem Nachbilde hin, und dann fliegt dieses scheinbar immer vor dem Fixationspunkte her nach dem Rande des Gesichtsfeldes hin, ähnlich den fliegenden Mücken. Fixirt der Beschauer aber einen äufseren festen Punkt, so stehen sich die Nachbilder still. Ihre Bewegung hängt immer nur von Bewegung des Auges ab.

Wenn wir nun aus den bisher beschriebenen Erscheinungen Schlüsse auf den Zustand der Netzhautstelle und des zugehörigen Theils des Sehnervenapparats ziehen wollen, welche von dem primären Lichte erregt worden waren, so finden wir, dafs in ihnen erstens nach Erlöschen des primären

Lichtes der Reizungszustand noch eine Zeit lang dauert, was durch die positiven Nachbilder angezeigt wird, und dafs zweitens die betreffende Nervensubstanz neu einfallendes, reagirendes Licht schwächer empfindet als die früher von Licht nicht getroffenen übrigen Netzhautstellen. Nach der Einwirkung von Licht besteht also erstens Reizung fort, zweitens ist die Empfänglichkeit für neue Reize vermindert. Dafs Reizung einen Zustand verminderter Reizempfänglichkeit zurückläfst, findet auch bei den motorischen und bei anderen empfindenden Nerven statt. Wir nennen einen solchen Zustand Ermüdung.

Aus dem Umstande, dafs die negativen Nachbilder bei steigender Helligkeit des reagirenden Lichts so lange deutlicher werden, bis diese Helligkeit etwa den Grad erreicht hat, wo Verminderung der Lichtstärke um kleine Bruchtheile ihrer ganzen Gröfse am besten wahrgenommen wird, können wir schliefsen, dafs die Ermüdung der Sehnervensubstanz die Empfindung neu einfallenden
363 Lichtes ungefähr in dem Verhältnifs beeinträchtigt, als wäre die objective Intensität dieses Lichtes um einen bestimmten Bruchtheil ihrer Gröfse vermindert. Es soll, bei dem Mangel genügender Messungen, hierdurch nur der Gang im Allgemeinen bezeichnet werden, welchen die Intensität der Empfindung einer ermüdeten Netzhautstelle als Function der Intensität des reagirenden Lichtes einhält. So lange noch neben dem negativen Bilde das positive besteht, ist die Reizung der Netzhaut zusammengesetzt aus der noch fortbestehenden Reizung, welche das primäre Licht hervorgebracht hat, und der durch die Ermüdung verminderten Reizung durch das reagirende Licht, und in diesem Sinne können wir die Helligkeit des Nachbildes als die Summe der Helligkeit des positiven Bildes und der durch die Ermüdung verminderten Helligkeit des reagirenden Lichtes betrachten. Ist nun die Verminderung der Helligkeit des reagirenden Lichtes gröfser als die Helligkeit des positiven Bildes, so wird die ganze Helligkeit des Nachbildes geringer sein, als die Helligkeit des reagirenden Lichtes, wie sie den nicht ermüdeten Netzhautstellen der Umgebung erscheint, das Nachbild also negativ werden. Dies ist bei gröfserer Helligkeit des reagirenden Lichtes der Fall. Bei geringerer dagegen ist die Helligkeit des positiven Bildes mehr als hinreichend den Verlust durch die Ermüdung zu decken; das Bild ist positiv.

Es sei H die scheinbare Helligkeit des reagirenden Lichts in den nicht ermüdeten Netzhautstellen, αH in den ermüdeten, wo $\alpha < 1$, und I die scheinbare Helligkeit des positiven Bildes, so mufs nach dem oben Gesagten bei wechselnder Gröfse von H doch α ziemlich constant sein. Nehmen wir dies an, so ist $\alpha H + I$ die Helligkeit des Nachbildes, H die des Grundes, auf welchem es erscheint. Für

$$H = \frac{I}{1 - \alpha}$$

wird

$$I + \alpha H = H$$

das Nachbild so hell, wie der Grund, es wird unsichtbar. Für

$$H > \frac{I}{1-\alpha}$$

wird

$$I + \alpha H < H$$

das Nachbild negativ, umgekehrt für

$$H < \frac{I}{1-\alpha}$$

wird das Nachbild positiv. Ist I sehr klein, so kann schon die scheinbare Helligkeit des Eigenlichtes der Netzhaut grösser sein als $\frac{I}{1-\alpha}$, dann wird las negative Bild auch im dunkelsten Gesichtsfelde erscheinen. Ist endlich las positive Bild ganz geschwunden, so ist H die Helligkeit im Grunde ınd αH im Nachbilde. Ist $1 - \alpha$ bei schwindender Ermüdung sehr klein geworden, so wird eine gewisse mittlere Stärke des reagirenden Lichtes nöthig ein, um den Unterschied erkennen zu lassen. Im dunkeln Gesichtsfelde ird es dann nicht zu sehen sein. Endlich wird $1 - \alpha = 0$, und das achbild schwindet ganz.

Was die negativen Bilder im ganz verdunkelten Gesichtsfelde betrifft, o lehrt der Augenschein, dafs sie durch Verringerung des Eigenlichtes der etzhaut zu Stande kommen. Dieses Eigenlicht also, welches wir aus der 364
Virkung innerer Reize auf den Sehnervenapparat herleiten müssen, unteregt den Wirkungen der Ermüdung ebenso wie der Eindruck des äufseren ichtes. Dafs Ermüdung des Auges durch Reizung seine Empfänglichkeit r andere Reize beeinträchtigt, läfst sich übrigens auch für elektrische nd mechanische Reize der Netzhaut nachweisen. Wenn man ein negatives achbild im Auge entwickelt hat, und läfst einen elektrischen Strom aufeigend durch Auge und Sehnerven gehen, wobei die helle bläuliche Eruchtung des Gesichtsfeldes eintritt, so wird das negative Nachbild dadurch rstärkt, und wenn ein Bild gerade im Uebergang von positiv zu negativ , kann man es durch einen aufsteigenden Strom negativ, durch einen abeigenden positiv machen. Das für Licht ermüdete Auge empfindet also ch den elektrischen Reiz schwächer. Hat man durch gleichmäfsig anltenden Druck Farbenerscheinungen im Auge entwickelt und läfst mit m Drucke nach, so kann man die noch bestehenden Bilder im dunkeln esichtsfelde negativ machen, indem man Licht durch die geschlossenen genlider einfallen läfst, oder nach einer beleuchteten Fläche hinblickt. e Ermüdung durch Druckreiz macht also das Auge auch gegen Lichtreiz empfindlicher.

In solchen Fällen, wo man ein schwindendes Nachbild durch reagirende Licht für einen Augenblick sichtbar gemacht hat, sieht man zuweilen un mittelbar nachher im dunkeln Gesichtsfelde wieder ein schwaches positive Nachbild. Daraus ist zu schliefsen, dafs in der ermüdeten Netzhautstell die Reizung durch reagirendes Licht zwar schwächer ist, als in den nich ermüdeten Theilen, aber länger nachdauert, welcher Umstand übrigens eben falls bei den motorischen Nerven seine Analogie findet, da die Zuckun eines ermüdeten Muskels zwar weniger kräftig ist, aber länger dauert, al die eines nicht ermüdeten. Dieser Wechsel zwischen positiven und nega tiven Bildern, welcher zuweilen bei wenig auffallenden Aenderungen der Be leuchtung durch Zukneifen der Augenlider, Bewegungen des Augapfels unte den geschlossenen Lidern, auch wohl nach subjectiven Lichterscheinunge durch plötzlichen Druck auf den Augapfel eintreten kann, hat einige Be obachter, namentlich PLATEAU, veranlafst, einen spontanen Wechsel de Zustände des Nervenapparats während der Dauer der Nachwirkung anzu nehmen. Ich selbst kann in dieser Beziehung nur FECHNER beistimmen dafs in den meisten Fällen Wechsel der Beleuchtung, Bewegungen des Auge oder des Körpers u. s. w. Veranlassung zu diesem Wechsel geben. Abe natürlich kann zu einer Zeit, wo sich zwei entgegengesetzte Einflüsse gerad im Gleichgewichte halten, der kleinste Nebenumstand nach der einen ode anderen Seite einen Ausschlag geben. Ich erinnere daran, dafs selbst di Athembewegungen auf das Eigenlicht der Netzhaut einwirken. Zuweile schwinden auch die Bilder nur, ohne sich in die entgegengesetzten zu ve wandeln, und zwar, wie AUBERT es passend bezeichnet, so als wenn ei nasse Stelle auf einem erwärmten Bleche schwindet. Uebrigens verschwi den auch schwache objective Bilder zuweilen in ähnlicher Weise, wenn ma starr einen Punkt fixirt, z. B. eine Landschaft in der Nacht betrachtet. I macht mir den Eindruck, als ob die Vergleichung der Erregungsstärk
365 verschiedener Netzhauttheile aufhörte möglich zu sein, wenn die Erregu nicht von Zeit zu Zeit wechselt. Bei objectiven Bildern ist dies jederze zu bewerkstelligen dadurch, dafs man den Fixationspunkt wechselt, bei su jectiven aber nicht. Wir kommen in der Lehre vom Contraste darauf noc wieder zurück. Ich finde übrigens, dafs, wenn man bei möglichst unverrüc gehaltenem Auge dergleichen Bilder aufmerksam festzuhalten sucht, d Gefühl der Anstrengung gerade dann am gröfsten ist, wenn die Bilder hinschwinden. Dann folgt nach einiger Zeit ein Nachlafs dieser Anstrengun wobei die Bilder wiederkommen. Welche innere Veränderung dem entspric weifs ich nicht anzugeben.

Hierher gehören weiter folgende Erscheinungen, die sich aus den a gegebenen Principien erklären.

Wenn man auf grauem Grunde einen hellen Gegenstand, z. B. e weifses Stück Papier, betrachtet, und dieses plötzlich entfernt, während m die Richtung des Auges unverändert läfst, so erscheint ein dunkleres Nac bild des weifsen Papiers, wie in den bisher beschriebenen Fällen. Betracht

man auf dem grauen Grunde dagegen ein Stückchen schwarzen Papiers, und zieht dies weg, so erscheint ein helles Nachbild. Die von dem Bilde des weifsen Papiers getroffene Stelle der Netzhaut ist mehr ermüdet, die von dem schwarzen Bilde getroffene weniger ermüdet, als der Rest der Netzhaut, auf welchem der graue Grund sich abbildete. Indem nachher die ganze Netzhaut gleichmäfsig von dem Lichte des grauen Grundes getroffen wird, wirkt dieses Licht am stärksten auf den Theil der Netzhaut, der primär schwarz sah, schwächer auf den, der vorher grau sah, am schwächsten auf den, der weifs sah. Der Versuch, bei dem wir das schwarze Papier betrachten und dann wegziehen, ist nun deshalb wichtig, weil er zeigt, dafs bei längerer Betrachtung des grauen Grundes Ermüdung der von einem Lichte getroffenen Netzhaut eintritt, und dieses Licht deshalb immer schwächer und schwächer empfunden wird. Wenn wir nämlich das schwarze Papier wegziehen, trifft das Licht des grauen Grundes eine ausgeruhte Stelle der Netzhaut, und macht auf diese eben denselben Eindruck, den zu Anfang des Versuchs das Grau des Grundes gemacht haben mufs. Dieses hat aber inzwischen die Theile der Netzhaut, die es trifft, ermüdet, und erscheint viel dunkler, wenn wir es mit dem frischen Eindrucke auf den unermüdeten Netzhautstellen vergleichen. Es unterscheidet sich dieser Versuch von den früheren dadurch, dafs das primäre und das reagirende Licht dasselbe ist, nämlich das Licht des grauen Grundes. Wir erkennen daraus, dafs *äufseres Licht von constanter Stärke, welches längere Zeit ununterbrochen auf die Netzhaut einwirkt, eine immer schwächer und schwächer werdende Erregung derselben hervorbringt.* Ja die Erregungsstärke kann, namentlich bei sehr schwachem Lichte, so abnehmen, dafs sie überhaupt nicht mehr wahrgenommen wird. Wenn man bei hereinsinkender Nacht irgend einen schwach erkennbaren Gegenstand anhaltend fixirt, ohne die Richtung des Auges zu verändern, verschwindet derselbe bald vollständig, und erst indem man die Richtung des Blicks verändert, pflegt das Object wieder im negativen Nachbilde aufzutauchen. Namentlich am Seehorizonte ist diese Erscheinung sehr auffallend, wenn man bei beginnender Dunkelheit sich bestrebt, ihn zu durchmustern, weil hier die Nachbilder jedes Theiles des 366
Horizonts jedem anderen Theile congruent sind, und welchen Punkt des Horizonts man auch fixiren mag, das Nachbild des dunkleren Meeres auf Meer, des helleren Himmels auf Himmel fällt. Richtet man den Blick dann etwas höher, so erscheint am unteren Theile des Himmels ein hellerer Streif, der unten begrenzt ist durch die jetzt wieder sichtbar werdende Grenze des Meeres, oben durch eine dieser parallel fortlaufende Linie, die durch den neuen Fixationspunkt geht. Dieser Streif ist das negative Nachbild des Meeres, auf den Himmel projicirt. Richtet man den Blick umgekehrt tiefer, so erscheint ein schwarzer Streif, das negative Nachbild des Himmels auf dem Meere, nach oben begrenzt durch den Horizont des Meeres, nach unten durch eine damit parallele Linie. So kann der Horizont im indirecten Sehen

sichtbar werden, aber er verschwindet immer wieder, wenn man ihn direc zu fixiren sucht.

Aehnliche Erscheinungen treten auch ein, wenn man ein weifses ode schwarzes Quadrat auf grauem Grunde fixirt und den Fixationspunkt ei wenig verändert. Dann deckt das Nachbild des Papiers nicht vollständi das Papier selbst, und die Ränder verändern ihre Helligkeit. Wo das Nach bild des weifsen Papiers auf den grauen Grund zu liegen kommt, erschein dieser dunkler; wo das Nachbild des grauen Grundes sich über das weifs Papier hinschiebt, erscheint dieses heller. Beim schwarzen Papier ist e umgekehrt. Hat man den Blick eine Zeit lang genau an einem bestimmte Punkte des Papiers festgehalten und richtet ihn plötzlich auf einen andere benachbarten Punkt, so sind auch die Ränder des Nachbildes scharf ge zeichnet, und der wahre Sachverhalt ist leicht zu erkennen. Wenn ma dagegen fortdauernd mit dem Fixationspunkte geschwankt hat, so sind di Nachbilder schlecht begrenzt, und es erscheint dann der helle Grund in de Nähe des weifsen Papiers nur verwaschen dunkler schattirt, und der Ran des weifsen Papiers ebenso hell schattirt. Aehnliches geschieht, wenn ma eine Zeit lang ein weifses Quadrat auf dunklem Grunde betrachtet hat un ohne den Fixationspunkt zu verändern, das Auge plötzlich dem Object näh bringt, so dafs die scheinbare Gröfse des letzteren wächst. Dann erschei der Rand des Quadrats, soweit er jetzt nicht mehr von dem Nachbil des früher gesehenen Bildes gedeckt wird, hell aufzublitzen. Entfer man dagegen das Auge plötzlich, nachdem man das Quadrat längere Ze fixirt hat, so erscheint es auf dem dunkeln Grunde von einem dunkler Rahmen umgeben.

n Die eben beschriebenen Versuche gehen nun in ganz ähnlicher Wei vor sich, wenn man statt vor dem grauen Grunde dieselbe weifse Scheibe v ganz dunklem Grunde betrachtet. Es tritt hierbei das Eigenlicht der Net haut an Stelle des Grau. Nur gesellt sich dazu noch gewöhnlich ei eigenthümliche Erscheinung, die mir davon herzurühren scheint, dafs, el man absichtlich die weifse Scheibe fest zu fixiren begann, der Regel nach d Blick im Gesichtsfelde gewandert ist, und dabei die verschiedenen Theile d Netzhaut nach einander verschieden hellen Beleuchtungen ausgesetzt war und daher im Beginn des Versuchs, mäfsig ermüdet sind. Dadurch wi auch die Empfindung ihres Eigenlichts herabgesetzt. Geht man nun fester Fixation eines bestimmten Punctes der weifsen Scheibe über, schwächt sich durch steigende Ermüdung das Weifs, während der Lichtnel des dunklen Gesichtsfeldes zunimmt und allmälig deutlicher, namentlich der Umgebung des weifsen Feldes hervortritt, wo ein objectiver Maafsst der in Wahrheit freilich irreführt, an der langsam sinkenden Helligk der weifsen Scheibe gegeben zu sein scheint.

Viele Beobachter, wie früher PLATEAU, neuerdings E. HERING[1] deut

[1] E. HERING, Ueber successive Lichtinduction und sogenannte negative Nachbilder, *Pflüg Archiv.* Bd. 43. S. 264. 1888.

lies so, als wenn das weifse Feld durch Contrast in seiner Nachbarschaft eine ieue subjective Lichtempfindung hervorriefe, oder, wie sie es nennen, „inducire". Ich finde eine solche besondere Hypothese nicht nöthig. Wir commen übrigens noch in der Lehre vom Contrast auf diese Hypothese urück. In den darüber gemachten Auseinandersetzungen wirkt auch vielältig die Ansicht mit ein, dafs das Eigenlicht der Netzhaut eine Empfindung on verschwindend kleiner Intensität sei, während man dasselbe, wie ich ben auf Seite 414 schon hervorgehoben habe, überhaupt nur durch die leinen Differenzen seiner Stärke kennt, die den Lichtstaub des dunkeln esichtsfeldes bilden, während seine mittlere Stärke nach der modificirten ECHNERschen Hypothese berechnet, gar nicht so klein sein kann. Was ian nach meiner Ansicht der Sache am Rande der Nachbilder von weifsen cheiben sieht, würde als die wahre Stärke des Eigenlichts ausgeruhter etzhautstellen zu betrachten sein, nur besonders deutlich wahrnehmbar urch den Contrast.

Zeitlicher Verlauf eines durch constante Beleuchtung rzeugten Eindrucks. Die beschriebenen Erscheinungen lassen auf folenden Verlauf der Empfindungsstärke schliefsen, wenn von einem bestimmten ugenblick ab in einer ausgeruhten Netzhautstelle eine constante Beleuching beginnt. Der Eindruck des ersten Moments hat eine Nachwirkung von ewisser Dauer. Dazu gesellt sich gleich darauf verstärkend der Eindruck es zweiten Zeittheilchens, und so fort jedes folgenden. Aber gleichzeitig fst jede dadurch erregte Thätigkeit des Nerven, die sich durch die Emindung wahrnehmbar macht, auch einen gewissen Grad von Erschöpfung rück, die unter dem Einflufs des arteriellen Blutes nur langsam schwindet. e später folgenden neuen Lichteinwirkungen bringen, zusammenwirkend t den schwindenden Nachwirkungen der vorausgegangenen, also nicht mehr eselbe Höhe der Summe hervor, wie die ersten, welche mit einem Zustand ringerer Ermüdung des Auges zusammentrafen. Daraus folgt, dafs eine nstante Beleuchtung eine im Anfang schnell steigende Empfindung geben ifs, die dann ein Maximum erreicht, später wieder sinkt. Den Beweis für s Sinken der Erregung hat uns der vorher beschriebene Versuch mit ier weifsen Scheibe gegeben, die zuerst auf schwarzem Grunde gesehen rde und die dann, wenn ihr ein gleich heller weifser Grund untergeschoben rde, in negativem Nachbilde erschien, dunkler als der gleich beleuchtete und.

Um die Zeit zu bestimmen, welche verfliefst, ehe das Maximum erreicht d, können Versuche dienen, die nach folgendem Plane angestellt wurden l von Herrn SIGMUND EXNER[1] ausgeführt worden sind. Man zeigt dem bachtenden Auge erst ein begrenztes weifses Scheibchen (Halbkreis) auf warzem Grunde, eine mefsbare kleine Zeit später erscheint überall z weifser Grund von gleicher Helligkeit, noch etwas später wird das

[1] SIGMUND EXNER, Ueber die zu einer Gesichtswahrnehmung nöthige Zeit. *Sitz.-Ber. d. Wiener* Abth. II. Bd. 58. S. 601—632. 1868.

Ganze mit Schwarz verhüllt. Der Beobachter aber behält ein Nachbild im Auge, welches den Intensitäten der letzten Momente der Empfindung entspricht. Hat der erst entstandene Eindruck schon sein Maximum erreicht, der zweite noch nicht, so bleibt das ursprüngliche Bild in positivem Nachbilde stehen. Haben beide das Maximum überschritten, so ist der erste schon mehr gesunken, als der zweite; das Nachbild ist negativ. Dazwischen liegt ein Moment, wo die ursprüngliche Figur weder positiv noch negativ sichtbar bleibt, sondern ganz ausgelöscht wird. Dann mufs der erste Eindruck das Maximum schon überschritten, der zweite es noch nicht erreicht haben.

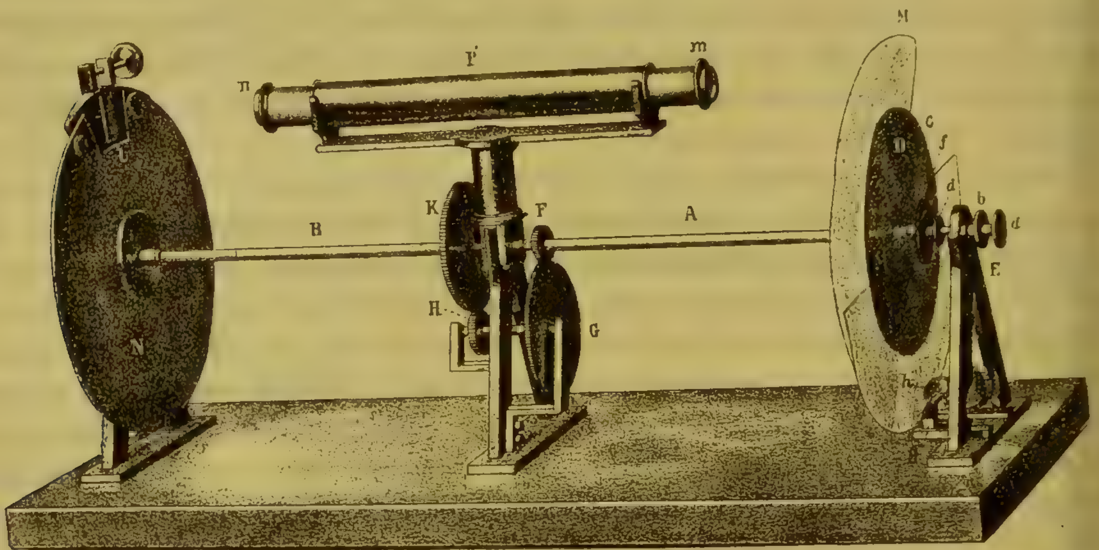


Fig. 191.

Um die Bedingungen des Versuchs herzustellen, diente der in *Fig 191* abgebildete Apparat. Der Beobachter blickte durch einen feststehenden Spalt *1* von der Breite seiner Pupille. Unmittelbar vor diesem Spalt rotirte eine Messingscheibe *N*, deren Rand den Spalt zudeckte. Nur ein Zwölftheil des Randes war ausgeschnitten. So lange dieser Ausschnitt vor dem Auge verweilte, sah der Beobachter hierdurch die Bilder eines nicht vergröfsernden astronomischen Fernrohrs *P*, d. h. eines Systems zweier Convexlinsen *m* und *n* von gleicher Brennweite, die um die Summe ihrer Brennweiten von einander entfernt waren. Jenseits dieses Linsensystems rotirte eine zweite Scheibe *D* zwölfmal so schnell wie die erste, so daſs sie in 10 Secunden einen ganzen Umlauf machte, während der erwähnte Ausschnitt der ersten Scheibe am Auge des Beobachters vorüberging. Diese Scheibe enthielt eingeklemmt zwischen zwei kleineren Messingscheiben, Sectoren theils von weifsem und schwarzem steifen Papier, theils konnten Spalten zwischen diesen freigelassen werden, durch welche das Fernrohr einen Augenblick Bilder ferner Objecte zeigte. Die zweite Scheibe stand im hinteren Brennpunct des Linsensystems, das Auge des Beobachters im vorderen, so dafs das optische Bild der zweiten Scheibe mit der Pupille des Beobachters zusammenfiel und für diesen sich, beim Vorrücken eines verdeckenden Randes der entfernteren Scheibe, das gesehene Bild gleichmäfsig i

anzen Felde verdunkelte, wozu nur so viel Zeit nöthig war, als der genannte Rand brauchte, um die Breite der Pupille zu durchlaufen.

Bei den Versuchen erblickte der Beobachter zuerst durch das Fernrohr das egrenzte weifse Feld, dann trat ein weifser Sector der Scheibe vor, dann ein chwarzer, der den gröfseren Theil des Umfangs einnahm. Zwischen den einzelnen eobachtungen blieben immer Pausen von zwei Minuten, bis der Ausschnitt der rsten Scheibe wieder den Blick frei liefs.

S. EXNER fand, dafs das Maximum desto früher eintrat, je stärker die Beuchtung des weifsen Feldes war; ich gebe hier die Ergebnisse zweier Versuchsihen:

Intensität	Zeit zur Erreichung des Maximum nöthig in Secunden	
	I. Reihe	II. Reihe
1	0,2873	0,2654
2	0,2460	0,2176
4	0,2000	0,1744
8	0,1508	0,1188

Man sieht daraus, dafs das Maximum desto schneller erreicht wird, je stärker s Licht, und zwar sind die Zeitdifferenzen, welche einer Verdoppelung der Bechtungsstärke entsprechen, nahehin gleich grofs.

Der genannte Beobachter hat auch durch Benutzung verschieden starker Bechtungen der beiden weifsen Felder noch andere Puncte der Curve abmessen nen, welche die Empfindungsstärke als Function der Zeit darstellt, und dadurch Form einer solchen Curve (*Fig 192*) ziemlich vollständig hergestellt.

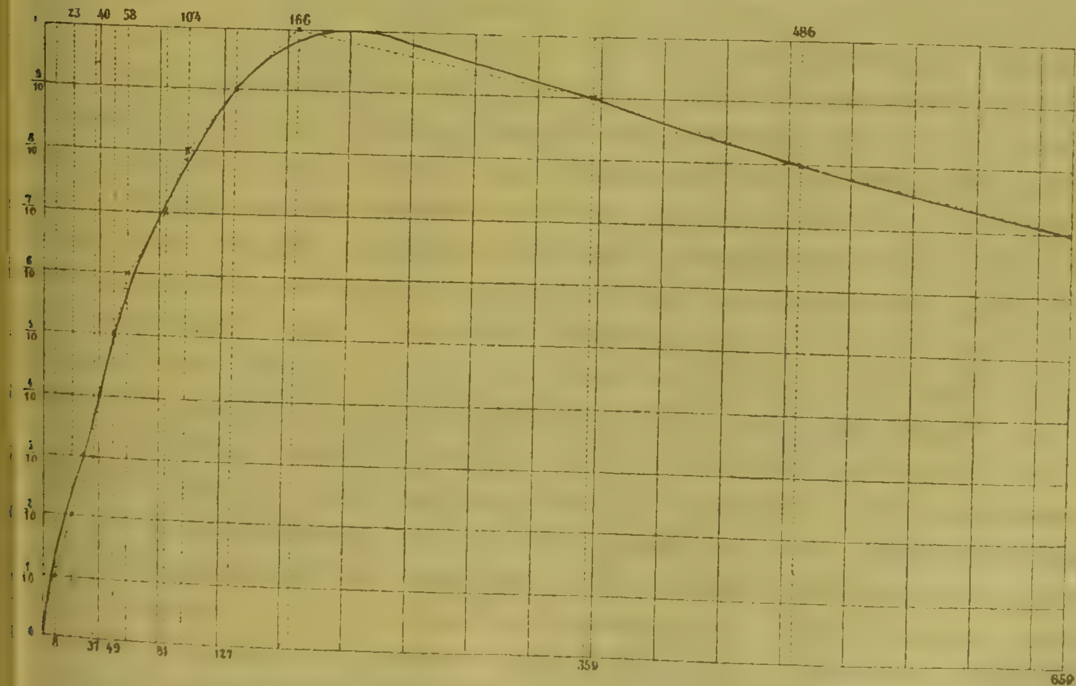


Fig. 192.

Mit demselben Apparat wurden noch Beobachtungen über die Zeit gemacht, in welcher die Wahrnehmung des Gesichtsbildes zu Stande kommt; davon später.

366 Für die Seitentheile der Netzhaut haben PURKINJE und AUBERT bemerkt, dafs der Eindruck heller Objecte auf ihnen viel leichter schwindet, als im Centrum. Die Ermüdung scheint dort also viel schneller einzutreten. Für die negativen Nachbilder auf den Seitentheilen hat AUBERT gefunden, dafs sie weniger intensiv sind, als die centralen, übrigens sich im Wesentlichen ähnlich verhalten. Aufserdem, finde ich, werden sie viel leichter übersehen, als die centralen Nachbilder, selbst auf hellen Flächen, und nur beim Wechsel der Beleuchtungsstärke bemerkt man sie leicht.

Wir gehen jetzt über zu den Farbenerscheinungen der Nachbilder. Wenn man farbige Objecte betrachtet hat und die Nachbilder auf ganz dunklem oder weifsem Grunde von verschiedener Helligkeit betrachtet, so
367 entsteht je nach Umständen ein positives oder negatives Bild. Das positive Bild ist im Anfang in den Stadien seiner gröfsten Helligkeit gleich gefärbt mit dem Object, und das negative Bild ist, wenigstens sobald es vollständig und kräftig entwickelt ist, complementär zu dem Objecte gefärbt. Der Uebergang von dem positiven zu dem negativen Bilde geschieht indessen gewöhnlich so, dass sich weifsliche oder graue Farbentöne anderer Art dazwischenschieben, und zwar ist die Ordnung dieser Farben in der Regel dieselbe, gleichviel ob der Uebergang durch allmäliges Nachlassen der Reizung oder durch Steigerung der Helligkeit des Grundes geschieht.

Die positiven Bilder entwickelt man am besten durch momentane Wirkung des primären Lichtes. Hat man dabei verschieden gefärbte Objecte vor sich, so zeigt das zurückbleibende positive Nachbild im Anfange die Objecte genau in ihren natürlichen Farben. Ehe das Nachbild verschwindet, ergiefst sich darüber meistens ein rosenrother Schein, in welchem die früheren Farbenunterschiede fast ganz verschwinden, dann folgen schwach gefärbte gelblich-graue Töne, in denen das der Helligkeit nach positive Bild schwindet oder in ein schwach gezeichnetes negatives Nachbild übergeht.

Die negativen Nachbilder erhält man besser nach längerer Fixation des Objectes. Um sie zu sehen, lege man farbige Papiere auf einen grauen Grund, fixire einen bestimmten Punkt des farbigen Papiers und ziehe es plötzlich weg. Dann erscheint auf dem grauen Grunde ein scharf gezeichnetes negatives Nachbild von complementärer Färbung. So ist z. B. das Nachbild von Roth blaugrün, von Gelb blau, von Grün rosaroth, und umgekehrt. Ueber die Dauer und Stärke dieser Nachbilder gilt im Allgemeinen dasselbe, was vorher über die Nachbilder weifser Objecte gesagt worden ist.

Das Auge also, welches z. B. Gelb gesehen hat, befindet sich nachher in einem Zustande, wo die blauen Theile des weifsen Lichts es stärker afficiren, als die gelben Theile. Die Ermüdung der Netzhaut erstreckt ihre Wirkung demnach nicht gleichmäfsig auf jede Art von Reizung, sondern hauptsächlich auf eine solche Reizung, welche der primären ähnlich ist. Sehr einfach wird dieser Umstand aus TH. YOUNG's Annahme dreier für d

verschiedenen Farben verschieden empfindlichen Nervenarten erklärt. Denn da das farbige Licht diese drei Arten von Nerven nicht gleich stark erregt, so müssen den verschiedenen Graden der Erregung auch verschiedene Grade der Ermüdung nachfolgen. Hat das Auge Roth gesehen, so sind die rothempfindenden Nerven stark gereizt und sehr ermüdet, die grünempfindenden und violettempfindenden schwach gereizt und wenig ermüdet. Fällt nachher weifses Licht in das Auge, so werden die grün- und violettempfindenden Nerven davon verhältnifsmäfsig stärker afficirt werden, als die rothempfindenden. Der Eindruck des Blaugrün, der Complementärfarbe des Roth, wird deshalb in der Empfindung überwiegen.

Entsprechend verhält es sich, wenn man negative Nachbilder von farbigen Objecten auf farbigem Grunde betrachtet. Aus der Farbe des Grundes schwinden immer hauptsächlich diejenigen Bestandtheile, welche in der primär angeschauten Farbe überwiegen. So läfst ein grünes Object auf gelbem Grunde ein rothgelbes Nachbild, auf blauem Grunde ein violettes. Denken wir uns das Gelb aus Roth und Grün, das Blau aus Grün und Violett zu- *368*
sammengesetzt, dann das Grün in beiden durch Einflufs der Ermüdung vermindert, so ergiebt sich der Erfolg, dafs das Nachbild im Gelb sich dem Roth, im Blau dem Violett nähern wird. Ueberhaupt liegt die Farbe des Nachbildes immer zwischen der des Grundes und der der Complementärfarbe des Objects, und kann, soweit es nur den Farbenton, nicht die Helligkeit betrifft, als eine Mischung von beiden angesehen werden.

Herr C. Hess hat unter Leitung von Herrn E. Hering Versuche über farbige *n*
Nachbilder angestellt,[1] deren Ergebnisse sich durchaus unter die oben aufgestellte Regel einordnen, die er aber glaubt zur Widerlegung der Theorie von Th. Young verwerthen zu können. Seine Einwendungen wären richtig einer Farbentheorie gegenüber, die die Grundfarben in einer oder einigen der Spectralfarben zu finden glaubt, und aufserdem das Eigenlicht der Netzhaut als verschwindend klein betrachtet. Gegen die erstere Annahme habe ich mich schon in der ersten Ausgabe dieses Werkes erklärt mit besonderer Beziehung auf die Nachbilder. Nun wissen wir von dem Verlauf der Ermüdungserscheinungen im Auge bisher noch zu wenig, da wir es in allen beobachtbaren Fällen ohne Ausnahme mit Ermüdung aller drei Faserarten zu thun haben, um Schätzungen über den gröfseren oder kleineren Einflufs mit einiger Sicherheit anstellen zu können, wie sie Herr Hess anstellt. Aber schliefslich handelt es sich hier nur darum, zu zeigen, dafs eine Hypothese über die Gröfse und den Verlauf der Netzhautermüdungen möglich ist, die mit den Thatsachen dieses Gebietes in Übereinstimmung ist, welche hier übrigens nur dazu dienen soll, statt der schwankenden Schätzungen von Hess eine in sich folgerichtige Rechnung mit bestimmten Gröfsen zu setzen, die übrigens natürlich keinen anderweitigen Anspruch auf genaue Richtigkeit macht.

Setze die Componenten des primären Lichts gleich x, y, z, die des reagirenden Lichts gleich ξ, η, ζ. Setze ferner, dafs während der Einwirkung von x die Erregungsstärke der gleichen Grundfarbe ξ mit steigender Zeit t abnehme, wie

[1] C. Hess, Über die Tonänderungen der Spectralfarben durch Ermüdung der Netzhaut mit homogenem Lichte. *Gräfes Archiv.* Bd. 36. Abth. 1. S. 1–32. 1890.

$$\xi' = \xi \cdot e^{-k x t.}$$

Ebenso

$$\eta' = \eta \cdot e^{-k y t}$$

$$\zeta' = \zeta \cdot e^{-k z t.}$$

Diese Gleichungen drücken aus, dafs diese Erregungen mit der Zeit um so schnelle abnehmen, je stärker die Intensität der ermüdenden Farbe.

Daraus folgt

$$\frac{\xi'}{\eta'} = \frac{\xi}{\eta} \cdot e^{-k(x-y)t.}$$

Ist also im ermüdenden Licht x stärker vertreten als y, so wird $\frac{\xi'}{\eta'}$ mit steigende Ermüdung kleiner als $\frac{\xi}{\eta}$. Ebenso ist, wenn $y > z$ das $\frac{\eta'}{\zeta'} < \frac{\eta}{\zeta}$, d. h. der Farbenton des Nachbildes ändert sich so, dafs das ξ am meisten zurücktritt, η weniger, ζ am wenigsten. Zurücktreten der überwiegenden Farbe x nähert das Nachbild im Farbenton deren Complementärfarbe, wozu sich dann noch die complementäre Färbung des Eigenlichts der Netzhaut gesellt.

Gäbe es Spectralfarben, die nur einer oder zweien Grundfarben entsprächen, in denen also $z = 0$ oder $y = z = 0$ wäre, so würde für diese keine Ermüdung eintreten und deren Nachbild würde sich der Complementärfarbe dieser Farben nicht nähern können, und die letztere nun aus dem Eigenlicht herstammen können. Dann wäre der Einwurf von Hess berechtigt.

368 Von besonderem Interesse sind die Fälle, wo die Farbe des Objects der des Grundes gleich oder complementär ist. Um Beobachtungen über den ersteren Fall zu machen, thut man am besten, ein schwarzes Object auf einen farbigen Grund zu legen, und nachdem man einen Punkt seines Randes eine Weile fixirt hat, es plötzlich hinwegzuziehen. Unter diesen Umständen ist der neben dem Schwarz sichtbare Theil des Grundes als das primäre farbige Object zu betrachten, der ganze farbige Grund nach Entfernung des schwarzen Objects als das reagirende Licht. Man sieht alsdann ein helles Nachbild des schwarzen Objects, in welchem die Farbe des Grundes nicht blos lichtstärker, sondern auch gesättigter ist, als im Rest des Grundes, so dafs sie auf dem letzteren mit vielem Grau gemischt zu sein scheint. Bei einiger Aufmerksamkeit erkennt man das Dunkel- und Grauwerden des farbigen Grundes auch wohl, ehe man das schwarze Object wegnimmt. Recht auffallend wird es im letzteren Momente, weil nun an dieser Stelle die Farbe in der Weise sichtbar wird, wie sie im ersten Augenblicke des Beschauens dem unermüdeten Auge erscheint. Dieses Grauwerden des Grundes findet sich nicht blos bei gemischten weifslichen Farben, bei welchen es so stark werden kann, dafs der Farbenton des Grundes ganz verschwindet, sondern selbst bei den homogenen Farben des Spectrum und gewisser farbiger Gläser, nachdem man auf das Sorgfältigste alles fremde

weifse Licht ausgeschlossen hat. Wenn man z. B. ein mit Kupferoxydul roth gefärbtes Glas, welches nur rothe Strahlen hindurchläfst, vor die Augen nimmt, den Kopf und die Ränder des Glases mit einem dunkeln Tuche umhüllt, so dafs nur rothes Licht zu den Augen dringen kann, dann durch das Glas nach einer weifsen Fläche sieht und vor diese ein schwarzes Object bringt, welches man plötzlich entfernt, so sieht man den Gegensatz zwischen dem rothgrauen Grunde und dem gesättigten Roth des Nachbildes ganz deutlich. Die Erklärung dieser Erscheinung liegt offenbar darin, dafs während des Anschauens der rothen Farbe des Grundes die betreffenden Theile der Netzhaut für Roth ermüden und es deshalb schwächer empfinden, als die unermüdeten Theile, auf welche das Bild des schwarzen Objects gefallen war. Ist das Roth auch noch mit Weifs gemischt, so nimmt die Empfindlichkeit für das Roth in einem stärkeren Verhältnisse ab, als für die übrigen Farben, die in dem beigemischten Weifs enthalten sind, und die Farbe mufs deshalb durch die Ermüdung der Netzhaut verhältnifsmäfsig weifslicher werden; da sie aber auch gleichzeitig lichtschwächer wird, erscheint sie grau. Dasselbe geschieht nun aber nicht blos mit weifslichem Roth, sondern auch mit ganz reinem Roth, und hier wird man die Erklärung theils von dem Lichtnebel des *n*
dunkeln Gesichtsfeldes, theils von der gemischten Natur der Eindrücke sämmtlicher Spectralfarben herleiten müssen.

Wenn die primäre Farbe complementär zu der reagirenden Farbe des *369*
Grundes ist, so erscheint die letztere in der Ausdehnung des Nachbildes gesättigter als auf den nicht ermüdeten oder durch die Farbe des Grundes ermüdeten Theilen der Netzhaut. Wenn man auf einen rothen Grund ein blaugrünes Object legt, und nachdem man es eine Weile fixirt hat, es wegzieht, so erscheint ein gesättigt rothes Nachbild, ähnlich als hätte man ein schwarzes Object weggenommen. Man kann sich aber leicht überzeugen, dafs die Farbe im Nachbilde eines complementären Objects noch gesättigter ist, als im Nachbilde eines schwarzen Körpers. Am einfachsten ist es, sich ein Object zu verfertigen, von dem ein Theil schwarz, ein anderer farbig, z. B. blaugrün ist, dies auf einen complementären (rothen) Grund zu legen, und einen Punkt des Grundes dicht an der Grenze des Schwarz und Blaugrün zu fixiren. Nimmt man das Object dann weg, so erscheint in dem ganzen Nachbild die Farbe des Grundes klarer als in dem vorher unbedeckten Theile des Grundes. Das Nachbild des Blaugrün ist etwas dunkler als das des Schwarz, aber es ist nicht das Roth, welches dort lichtschwächer wäre, vielmehr erscheint das Roth im Nachbilde des Schwarz wie von einem weifslichen Nebel übergossen, welcher im Nachbilde des Blaugrün das Roth frei läfst. Es erscheint also das Nachbild des Roth auf Roth grauroth, des Schwarz auf Roth weifsroth, des Blaugrün auf Roth gesättigt roth. Man sieht diese Unterschiede sehr gut, wenn man bei diesem Versuch alle drei Nuancen neben einander hat.

Setzt man voraus, dafs das Roth des Grundes noch Weifs enthält, so *370*

erklärt sich der Erfolg leicht. Schwarz ermüdet das Auge gar nicht, e empfindet im Nachbilde unverändert das weifsliche Roth des Grunde Roth ermüdet das Auge für Roth, es empfindet im Nachbilde das Rot schwächer, die übrigen Bestandtheile des Weifs ziemlich ungeschwäch die Empfindung ist die von lichtschwachem weifslichen Roth (Grauroth Das Blaugrün macht dagegen das Auge unempfindlicher für die dem Rot fremdartigen Theile in dem Lichte des Grundes, und läfst also das Roth i Nachbilde freier von fremden Beimengungen heraustreten.

Dieselben Versuche gelingen nun aber ebenso gut mit reinen Spectra farben. Ich habe im Felde eines Fernrohrs mir einzelne Theile des Spe trum hergestellt mit allen Vorsichtsmafsregeln, welche nöthig sind, um d letzten Reste weifsen Lichts zu entfernen. Der Grund war so tiefschwar dafs man die Blendung des Fernrohrs auf ihm nicht mehr erkennen konnt vielmehr die wolkigen Figuren des inneren Lichtnebels auf ihm sah. Da Auge wurde von keinem anderen Lichte, als dem eines kleinen Theils de Spectrum getroffen. Auf dieses farbige Feld warf ich nun Nachbilder vo complementären Spectralfarben. Zu dem Ende war vor das Ocular unter 4 ein kleines bewegliches Stahlspiegelchen gestellt, in welchem man gespiege einen passend abgeblendeten Theil eines anderen, sehr hellen Spectrum sal durch eine kreisförmige Blendung abgegrenzt. Für dieses zweite Spectru ist ein so hoher Grad von Reinheit nicht erforderlich. Die Anordnunge waren so getroffen, dafs der ganze Kreis in der gleichen Farbe erschie Sobald man das Spiegelchen vor dem Ocular fortzog, sah der Beobachte statt des bisher durch Reflexion gesehenen Kreises durch das Fernrohr a das reine Spectrum. Auf diesem erschien das Nachbild des farbigen Kreise Es traten hier genau dieselben Erfolge ein, wie bei den ähnlichen Versuche mit Pigmentfarben. Namentlich erschien das Nachbild der Complementä farben als eine gesättigtere Farbe im Vergleich mit der Farbe des Grunde Der letztere schien wieder mit einem weifslichen Lichtnebel bedeckt z sein, welcher an der Stelle des Nachbildes gleichsam fortgenommen wa und die Farbe des Grundes in ihrer gröfsten Reinheit hervortreten liefs Aus diesen Versuchen geht unabhängig von den Gründen, die uns die Unte suchung der Farbenempfindlichkeit in § 21 geliefert hat, die wichtige Folge rung hervor, dafs *die gesättigtesten objectiven Farben, welch existiren, die reinen Spectralfarben, im unermüdeten Auge noc nicht die gesättigteste Farbenempfindung hervorrufen, welch überhaupt möglich ist*, sondern dafs wir diese erst erreichen, wenn wi das Auge gegen die Complementärfarbe unempfindlich machen.

Auch in diesem Falle könnte man glauben, dafs der weifsliche Schei welcher den Grund überzieht, der innere Lichtnebel sei, dessen störend Theile im Nachbilde entfernt seien. In der That sieht man, wenn man da Auge auf den dunkeln Grund neben dem Spectrum richtet, ein complementä gefärbtes Nachbild. Auch in diesem Falle halte ich diese Erklärung fü ungenügend, weil die Erscheinung auf sehr hellen Spectralfarben zu sehe

st, gegen welche die scheinbare Helligkeit des Lichtnebels doch wohl zu lein erscheint. Folgen wir dagegen der Annahme von Th. Young, so vürden wir hier die reinen Farbenempfindungen der einzelnen Nervenarten or uns haben, gegen welche die Spectralfarben immer noch weifslich er- 371
cheinen müssen, weil nach der nothwendigen Modification jener Annahme ede einzelne Art homogenen Lichts nicht blos eine einzige Art von Nerven-asern ausschliefslich erregen kann.

Alle diese Versuche über Nachbilder farbiger Objecte auf farbigem rrunde kann man nun auch so anstellen, dafs man den Fixationspunkt echselt, oder das Object dem Auge nähert und wieder davon entfernt, wie ies vorher für weifse Objecte beschrieben ist. Hat man zum Beispiel eine laue Scheibe auf gelbem Grunde eine Weile so betrachtet, dafs man einen unkt derselben fixirte, und wechselt nun den Fixationspunkt, so fällt das achbild der blauen Scheibe zum Theil auf den Grund, zum Theil auf die heibe; ebenso das Nachbild des Grundes. Wo das Nachbild der Scheibe f den Grund fällt, erscheint das Gelb gesättigter, ebenso das Blau, wo s Nachbild des Grundes auf die Scheibe fällt. Dagegen erscheint das lau und Gelb mit Grau gemischt, wo das Nachbild der Scheibe auf die heibe, und das Nachbild des Grundes auf den Grund fällt. Der Erfolg r übrigen Abänderungen dieser Versuche läfst sich leicht übersehen. weilen mischen sich auch Contrasterscheinungen ein. Hat man ein weifses pierschnitzelchen auf rothem Grunde fixirt, und wirft dann das Nachbild f Weifs, so ist das Nachbild des rothen Grundes blaugrün, das des kleinen eifsen Feldes roth durch Contrast zu jenem Grün, wie sich im nächsten ragraphen zeigen wird. Am besten legt man zu dem Ende das farbige pier auf ein weifses Blatt, auf das farbige dann ein weifses Schnitzelchen, lches man mit einer Pincette festhält, während man das farbige Blatt weg-ht. Schwach erscheint eine solche Contrastfärbung auch um das Nachbild es farbigen Quadrats auf weifsem Grunde.

Aber nicht nur farbige, sondern auch weifse Objecte geben farbige chbilder, in denen die Farben gewöhnlich mannigfach wechseln. Man be-chnet diese Erscheinungen gewöhnlich als das farbige Abklingen der chbilder. Die Reihenfolge der Farben ist dabei verschieden, je nach der uer und der Intensität des primären Eindrucks. Die Farbenfolge nach mentaner Anschauung finde ich übereinstimmend mit Fechner[1] und guin.[2] Das ursprüngliche Weifs geht schnell durch grünliches Blau guin Grün) in schönes Indigblau, später in Violett oder Rosenroth über. se Farben sind hell und klar. Dann folgt ein schmutziges oder graues nge, während dessen sich das positive Nachbild meist schon in ein ne-ives verwandelt, und im negativen Bilde wird dieses Orange oft noch ein mutziges Gelbgrün. Nach sehr kurzer Einwirkung des primären Lichts meist das Orange die letzte Farbe, und das Bild schwindet, ehe es ne-

[1] Fechner, *Pogg. Ann.* L. 220. 1840.
[2] Seguin, *Annales de Chemie et de Physique*. 3. Ser. XLI. 445—446. 1850.

gativ wird. Dieselbe Farbenfolge fand auch AUBERT nach der Betrachtu des etwas bläulich gefärbten Entladungsfunkens einer Leydener Flasche, nu war das Orange auf dunklem Grunde nicht deutlich erkennbar, auf weifse dagegen sowohl diese Farbe als das folgende Grün sehr deutlich. Umgeb ist das Bild von einem gelben Hofe, wohl dem negativen Nachbilde d durch unregelmäfsige Brechung im Auge zerstreuten bläulichen Lichts.

372 Die bisher beschriebenen Erscheinungen beziehen sich auf den Verla des Nachbildes im ganz dunkeln Felde. Wenn es dabei überhaupt zu Bildung negativer Nachbilder kommt, so erscheinen diese nur in das Eigen licht des dunkeln Feldes dunkel eingezeichnet. Wenn man nun währe des Bestehens eines solchen Nachbildes allmälig reagirendes Licht zuläfs indem man die Hände, oder ein dunkles Tuch, mit dem man die Auge bedeckt hat, langsam hinwegzieht, so beobachtet man im Allgemeinen, da das Nachbild dabei in die späteren Stadien seiner Farbenentwickelung übe geht und wieder zurückschreitet, wenn man das reagirende Licht wiede schwächer macht. Läfst man z. B. Licht hinzutreten, während das Bild i absoluten Dunkel blau ist, so geht es durch Rosaroth in ein negatives gelbe Bild über. Deckt man schnell genug wieder zu, so findet man das Bla wieder. Ist das Bild im absoluten Dunkel rosaroth, so wird es durc schwaches Licht gelbroth u. s. w. Wenn das positive Nachbild im dunkel Gesichtsfelde schliefslich ganz geschwunden ist, sieht man auf schwach e leuchtetem Grunde noch längere Zeit ein graues oder grüngraues negative Nachbild, und der hellere Grund, der es umgiebt und der den nicht ermi deten Stellen des Auges entspricht, erscheint dann rosaroth.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen hat PLATEAU die Annahme ge macht, dafs die Dauer der einzelnen Stadien der Nachbilder für die ver schiedenen Farben verschieden sei, und er suchte dies durch die im vorige Paragraphen erwähnten Versuche auch direct zu erweisen. Um eine vol ständige Erklärung zu geben, müfsten wir nicht blos den Verlauf der nacl bleibenden Reizung, sondern auch den Verlauf der Ermüdung vollständi kennen. Indessen läfst sich doch einiges aus ihnen schliefsen. Im gan dunkeln Gesichtsfelde sind nämlich die ersten hellsten Stadien der Erschei nung ziemlich unabhängig von dem Grade der Ermüdung, weil diese erst i Betracht kommt, sobald die Helligkeit des positiven Nachbildes sich von de des inneren Lichtnebels nicht mehr sehr unterscheidet. Wir können des halb als wahrscheinlich annehmen, dafs die grünblaue, blaue und rosaroth Phase nur von der nachbleibenden Reizung bedingt sind, während bei de gelben und grünen, in denen sich das negative Nachbild ausbildet, auch di Ermüdung in Betracht kommt. Wir müssen daraus schliefsen, dafs di nachbleibende Reizung für die drei Farben Roth, Grün, Violett in der Weis abnimmt, wie die nebenstehende *Fig. 193* es darstellt. Darin bedeuten di horizontalen Abscissen die Zeit, die verticalen Ordinaten der Curven di Intensität der Reizung. Die ausgezogene Linie entspricht dem Grün, di punktirte dem Violett, die gestrichelte dem Roth. Die positive Nachwirkun

immt für alle Farben continuirlich ab, aber so, dafs die Abnahme des oth im Anfang die schnellste, nachher die langsamste ist, die des Grün ıfangs die langsamste, ıchher die schnellste. ·i den dargestellten röſsen der Farben- 373 ıpfindung wird in der ·it von 0 bis 1 Blau- ün überwiegen, bei 1 au, bei 2 Violett, bei Purpur, welcher all-

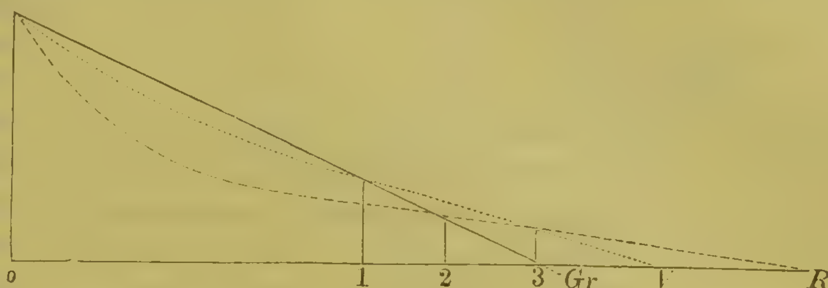


Fig. 193.

ılig sich mehr in das Rothe zieht. Nun mischt sich in Wirklichkeit aber die müdung ein, welche in dem weifslichen inneren Lichtnebel ein grünliches Nach- ıl entwickelt, so dafs also die Ermüdung für Grün, dessen nachbleibende regung am schnellsten geschwunden ist, schliefslich am geringsten zu sein ıeint. Dieses grüne negative Bild, mit positivem Roth gemischt, wird Gelb geben, welches je nach der gröfseren Stärke des einen oder an- en heller oder dunkler, als der Grund erscheinen kann, und zuletzt in ın übergeht, wenn auch das Roth erlischt. Bei Plateau's Versuchen r die Dauer der Farbeneindrücke stellte sich dasselbe Gesetz der Ab- me heraus, dafs diejenigen Eindrücke, welche im Anfang am schnellsten ahmen, schliefslich am längsten in schwachen Resten dauerten. Ganz ers gestaltet sich die Reihe der Farbenerscheinungen, wenn die Er- lung gröfser geworden ist, wie es nach längerer Einwirkung weifsen ıts, oder nach Einwirkung sehr intensiven Lichtes stattfindet. Bei gerer Einwirkung weifsen Lichtes zeigt sich nach Fechner's Beobachtungen Einflufs der Ermüdung schon während der Betrachtung des Weifs da- h, dafs dieses farbig wird. Nachdem er die Augen eine Zeit lang ge- ossen gehalten hatte, um die Nachwirkung früherer Eindrücke zu be- gen, richtete er dieselben auf ein weifses im Sonnenschein auf schwarzem ıer liegendes Feld. In den ersten Momenten liefs sich wegen einer Art Blendung kein sicheres Urtheil über das Vorhandensein oder Nicht- andensein einer Farbe fällen; eine solche scheint sich in der That erst einiger Zeit zu entwickeln. Bald nämlich färbt sich das Papier ent- eden g e l b, dann b l a u g r a u oder b l a u, ohne dafs bei oftmaligen Ver- en eine Übergangsstufe durch Grün wahrzunehmen gewesen wäre, dann ı v i o l e t t oder r o t h. Die gelbe Phase ist die kürzeste; die blaue rt oft ziemlich lange, ehe sie in die folgende übergeht. Nach der n oder rothvioletten konnte er keine weitere wahrnehmen, obgleich er Versuch bis zu grofser Anstrengung des Auges fortsetzte. Auch im reiteten Tageslichte nahm er die angegebene Folge der Färbungen oft , obschon einmal mit gröfserer Entschiedenheit als das andere Mal; beiden letzten Färbungen erkannte er hier in der Regel leichter als die gelbe. Fechner stellt die Erscheinungen durch drei Curven, aber mit

anderen Grundflächen vor, ähnlich denen der *Fig 194,* wo wieder die ho zontalen Abscissen der Zeit proportional sind, die verticalen der Erregun stärke der Netzhaut l dauernder Betrachtu einer weifsen Fläche. I ausgezogene Curve e spricht dem Grün, d gestrichelte dem Roth, d punktirte dem Viole In der Zeit von 0 bis würde die Farbe gelbgrün, zur Zeit 1 weifslich grün, bei 2 weifslich bl bei 3 violett, später rosaroth sein.

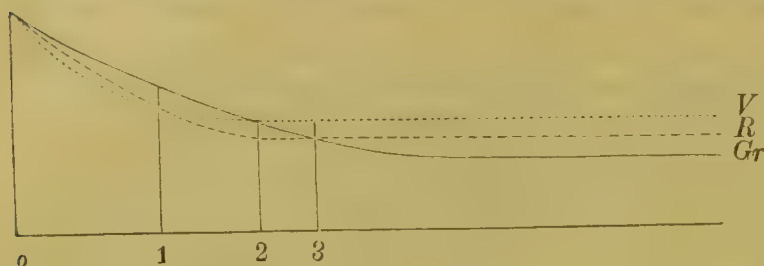


Fig. 194.

Nach längerer und stärkerer Einwirkung primären weifsen Lichts ze das Nachbild auf ganz dunklem Grunde folgende Farbenreihe: Weifs, Bla
374 Grün, Roth, Blau und auf weifsem Grunde schliefslich noch blaugr und gelb. Beim Roth wird das Bild negativ. SEGUIN schaltet in sei Beschreibung einige Zwischenstufen mehr ein. Die Farben der ersten Re sind ihm Weifs, Grün, Blau, die der zweiten (negativen) Gelb, Rot Violett, Blau, Grün. Wenn die Einwirkung des weifsen Lichts eine g wisse Zeit überdauert hat, ist diese Farbenreihe constant und wird du längere Einwirkung nicht weiter geändert. Bei einer kürzeren, aber do nicht blos momentanen Dauer der primären Lichtwirkung, wo das prim Weifs sich deutlich gelb gefärbt hatte, war die Farbenfolge Gelb, Bla Rothgelb, dann wurde es negativ grün. BRÜCKE giebt an: Grün, Bla Roth, dann negativ ohne deutliche Farbe. Die blaue Phase scheint a immer die erste Änderung des primären Lichteindrucks zu sein, dann fo eine rosenrothe, rothgelbe bis grüne positive Phase, je nach der Dauer d primären Eindrucks.

Auch bei diesen farbigen Nachbildern bestätigt sich die Regel, d Erhellung des Grundes durch weifses Licht die späteren Phasen des Na bildes herbeiführt, während Verminderung des reagirenden Lichtes das Na bild wieder auf frühere Phasen zurücktreten läfst. So oft ich Nachbil beobachtet habe von gleichmäfsig erleuchteten Flächen, für deren Umri mein Auge gut accommodirt war, habe ich die Farbenveränderungen d Nachbildes entweder auf der ganzen Fläche gleichzeitig, oder auch w unregelmäfsig von dieser oder jener Seite vorschreitend gesehen. Dageg ist es nach dem Anblicke der Sonne oder ähnlicher blendender Objecte g wöhnlich, dafs die Farbenveränderungen des Bildes vom Rande nach d Mitte hin vorschreiten. Aufser den Unregelmäfsigkeiten der Brechu welche für hellere Objecte immer gröfsere Mengen Licht in die Nachbarsch des Bildes verbreiten, kommt hier auch wohl in Betracht, dafs bei schme hafter Blendung des Auges es fast unmöglich wird, die Accommodation u Richtung des Auges festzuhalten. Die Folge davon ist, dafs die der Mi des Sonnenbildes entsprechende Stelle der Retina anhaltender und intensi

r Lichtwirkung unterworfen wird, als die dem Rande jenes Bildes näheren. ı den Sonnenkörper selbst schliefst sich ringsum der Widerschein des in · Atmosphäre und im Auge selbst diffus zerstreuten Lichts. Wenn man ; im Dunkel ausgeruhte Auge plötzlich für einen Augenblick nach der ıne blicken läfst, so erkennt man in der blendenden Lichtfläche kaum die ırisse des Sonnenkörpers. So hat man denn in diesen Fällen immer e vom Centrum nach der Peripherie hin allmälig abnehmende Lichtwirkung, l der entspricht im Nachbilde ein verschiedener Verlauf der einzelnen ısen. Je intensiver die Wirkung, desto langsamer verlaufen im Ganzen einzelnen Phasen, so dafs man am Rande des Nachbildes meist die ıeren Stadien sieht, welche allmälig gegen das Centrum vorrücken. fserdem ist die Reihenfolge der Farben in den peripherischen Theilen gen der geringeren Ermüdung meist etwas abweichend von der in der te. Das Nachbild hat in seinen ersten Stadien dieser Erklärung ent-echend einen gröfseren Umfang als die scheinbare Gröfse der Sonne rägt, und man verfällt leicht in den Fehler, das ganze Nachbild für das l der Sonnenscheibe allein zu halten, und zu glauben, dafs die verschie-en farbigen Ringe, die sich darin entwickeln, dieser selbst angehören, ırend sie in Wirklichkeit ihrer Umgebung entsprechen. Um das Nachbild 375
Sonne möglichst regelmäfsig zu entwickeln, nehme ich ein sehr dunkel rbtes Glas (oder ein berufstes Glas oder mehrere complementär gefärbte ser über einander gelegt), sehe damit nach der Sonne hin, welche durch Glas nur noch als eine schwach sichtbare Lichtscheibe erscheinen mufs. n nehme ich das Glas für einen Moment weg, und schliefse sogleich die en. So werden dieselben verhältnifsmäfsig wenig angegriffen, und haben ig Zeit, ihre Stellung zu verändern, während doch das Nachbild sich glänzend entwickelt. Unter diesen Umständen finde ich auch im Nach-e meist einen Kern, welcher in seiner ganzen Ausbreitung eine gleich-sige Färbung hat, und ziemlich die Gröfse der scheinbaren Sonnenscheibe tzt, so dafs man die Abweichungen, welche am Rande vorkommen, den ern der Brechung im Auge zuschreiben kann.

Man sieht unter diesen Umständen in der Umgebung des Sonnenbildes ell die Phasen des Nachbildes verlaufen, welche weifse Gegenstände momentanem Anblick geben. Positives Blau, Rosaroth, welches durch in negatives Dunkelgrün übergeht, während das Bild der Sonne selbst ieser ersten Phase als ein verwaschener, nicht regelmäfsig runder ser Fleck erscheint, der ungefähr zu der Zeit, wo der Grund rosenroth rden ist, in die zweite Phase tritt, und sich hellblau färbt. Die te geht meist schnell in die dritte Phase über, indem das Blau zuerst Rande, dann auch in der Mitte grün wird, während am Rande ein roth-r Saum entsteht, der dunkler als die Umgebung ist, und an dessen rem Rande sich dann auch wohl schon in dieser Phase ein noch dunk-blaugrauer Saum abzeichnet. Richtet man die Augen während dieser e auf ein weifses Feld, so verwandelt sich das positive Grün durch tt in das negative Blutroth der folgenden Phase.

Die vierte Phase entsteht, indem das Roth des Saumes sich über die Mitte des Bildes verbreitet. Der blaugraue Saum wird dafür breiter und dunkler. Das ganze Nachbild ist jetzt dunkler als die Umgebung. Letztere erscheint im Gegensatz dazu weifslich oder grünlich. Es ist dies das letzte negative Grün vom Bilde der Himmelsfläche. Die etwa vorhandenen Nachbilder der Fensterstäbe erscheinen darin hell. Blickt man in dieser Phase auf weifsen Grund, so geht das Roth in Grünblau über.

In der fünften Phase endlich nimmt das ganze Nachbild die blaue Farbe des bisherigen Saumes an, und verschwindet im dunkeln Felde meist in diesem Stadium des Blau, während es auf weifsem Felde grünblau erscheint.

Diesen von FECHNER aufgestellten Phasen möchte ich noch eine sechste anschliefsen, wo man im dunkeln Felde vom Nachbilde nichts mehr erkennt, wohl aber auf weifsem Felde noch einen gelben oder bräunlichen Schein sieht. Endlich nach ziemlich langer Zeit schwindet auch dieser. Hat man während dieser Zeit, und selbst noch später, wo der gelbe Schein geschwunden ist, auf Weifs gesehen, und schliefst plötzlich die Augen, so tritt noch wieder ein schwaches positives bläuliches Nachbild auf, welches schnell wieder schwindet. Öffnet man dann die Augen, indem man sie auf Weifs richtet, so sieht man im ersten Augenblick noch wieder das gelbe Nachbild. Die
376 Erklärung dieser Erscheinung scheint mir in dem schon erwähnten Umstande zu suchen, dafs in einem ermüdeten Nerven die neue Reizung langsamer verschwindet, als in den umgebenden unermüdeten Theilen der Netzhaut.

Es scheint übrigens der Verlauf dieser Nachbilder intensiven Lichts bei verschiedenen Personen nicht wesentlich verschieden zu sein, wenn sie unter denselben Umständen entwickelt werden; wenigstens stimmen in dieser Beziehung meine eigenen Beobachtungen, so weit sie reichen, mit FECHNER's und SEGUIN's überein.

Bei dieser complicirteren Farbenfolge dürfen wir vermuthen, dafs durch die stattfindende Ermüdung die Zeit, in der die Eindrücke der einzelnen Farben in der Netzhaut schwinden, so wie auch die Perception des inneren Lichtnebels geändert sei, und da wir weder diese Verhältnisse genau genug kennen, noch wissen, wie die Ermüdung selbst bei verschiedenen Graden derselben für die einzelnen Farbenempfindungen verschwindet, so ist eine vollständige Erklärung der einzelnen Stadien dieses farbigen Abklingens nicht möglich. Um sie zu geben, würde zuerst der Verlauf der Ermüdung und ihr Einflufs auf den Verlauf der Erregung für die einzelnen reineren Farbeneindrücke bestimmt und verglichen werden müssen.

Wenn wir das Abklingen des Nachbildes nach Eindrücken gesättigter Farben genau beobachten, ist die Erscheinung allerdings sehr viel einfacher, aber es fehlen Farbenveränderungen doch nicht ganz. Die Hauptzüge der Erscheinung sind schon vorher angegeben worden. Es erscheint zuerst ein positives dem primären Lichte gleich gefärbtes, später ein negatives complementäres Bild. Der Übergang von positiv zu negativ geschieht

aber nach lebhafteren Lichteindrücken in der Regel nicht so, dafs das Bild einfach erblafst, und dann das andere sichtbar würde, sondern im n Übergangsstadium verändert sich die Farbe durch weifsliche Farben- hindurch. Hat man nur eine primäre Farbe im Gesichtsfelde gehabt, scheinen die Farben des abklingenden Bildes noch immer ziemlich ge- t, und sind von mehreren Beobachtern als gesättigte Farben angegeben en, weil es im dunkeln Gesichtsfelde an einem Vergleichungspunkte Wenn man aber an dem nur momentan gesehenen primären Objecte hiedene Farben von ungefähr gleicher Helligkeit vor sich hatte, so sieht dafs die Nachbilder im Übergangsstadium von positiv zu negativ viel gere Farbenunterschiede zeigen, als die ursprünglichen Farben, indem lle stark gemischt sind mit dem rosarothen oder gelblichen Weifs, es auch die Nachbilder momentan gesehener weifser Objecte zeigen. eser Beziehung ist namentlich das Nachbild eines momentan angeschauten atischen Spectrum interessant. Nachdem noch einige Secunden die ren Farben im Nachbilde sichtbar gewesen sind, und die lichtschwachen rsten Farben sich ganz verdunkelt haben, verwandelt sich das ganze bild in einen röthlich weifsen Fleck von der Gestalt des Spectrum, in em Farbenunterschiede kaum noch angedeutet sind, nur zieht das re Gelb und Orange etwas in das Bläuliche, woran sich an der Stelle rüheren Roth dessen, schon negativ gewordenes grünblaues Nachbild liefst. Um mich über den Ort der früheren Farben im Nachbilde iren zu können, mufste ich auf dem weifsen Schirm, auf den das *377*
rum projicirt war, einen schwarzen Strich machen, der parallel den nstreifen das Spectrum schnitt, und im Nachbilde sichtbar blieb. So nte ich, dafs das röthlich weifse Nachbild der ganzen Ausdehnung des rum vom Orange bis Indigo entspricht. Dasselbe Resultat gewinnt wenn man farbige Papiere von nahe gleicher Helligkeit von der Sonne einen läfst, und durch momentanes Anschauen ein Nachbild entwickelt. Es geht hieraus hervor, dafs im positiven Nachbilde gefärbter Objecte momentanem Anblicke zuerst die vorherrschende Farbe schwindet, und das Nachbild dem eines weifsen Objects ähnlich wird, wobei nament- gewöhnlich die rosenrothe Phase eines solchen hervortritt. Dann ent- lt sich allmälig die Complementärfarbe des negativen Nachbildes, aber ann schon sichtbar werden, noch ehe das positive Bild negativ geworden e kann also heller erscheinen als der dunkle Grund. Ich glaube das rtreten der Complementärfarbe darauf zurückführen zu können, dafs zu dieser Zeit das schwach und weifs gewordene positive Bild deckt em durch die Ermüdung des Auges in dem inneren Lichtnebel ent- nden negativen und complementären Bilde. Es ist klar, dafs durch solche Deckung z. B. nach Anblick von Roth positives Weifs und ne- s Blaugrün zusammen ein grünlich weifses positives Bild geben können. positiv complementären Bilder sind von mehreren Beobachtern[1] er-

[1] PURKINJE. Zur Physiologie der Sinne. II. 110. 1825. — FECHNER, *Pogg. Ann.* L. 213. 1840. — :. Untersuchungen über subjective Farben, *Denkschr. der Akad. zu Wien.* Bd. III. S. 12. 1850.

wähnt. Hat man sie allein oder nur mit der primären Farbe zusammen i Gesichtsfelde, so erscheint die Complementärfarbe ziemlich gesättigt. Kan man sie aber mit Nachbildern anderer Farben vergleichen, so habe ich ste gefunden, dafs die Complementärfarbe stark mit Weifs oder Grau gemisc erschien, so lange sie noch heller als der Grund war, erst im negativ Nachbilde entwickelt sie sich dann gesättigter.

Im Sinne von Th. Young's Farbentheorie würden wir diese Ersche nungen so erklären, dafs jede, auch die gesättigteste objective Farbe su jectiv mit Weifs gemischt ist, dafs die starke Erregung, welche der v herrschenden Farbe entspricht, verhältnifsmäfsig schneller abnimmt, als d schwachen Erregungen, welche den anderen im Weifs enthaltenen Farb entsprechen, so dafs der gesammte Farbeneindruck, indem er schwäch wird, auch sich dem Weifs nähert. Dann gewinnt in den lichtschwächer Stadien des positiven Bildes endlich auch das durch Ermüdung bewirkte n gative Bild mit seiner Färbung einen merklichen Einflufs.

Bei den einzelnen Farben geschieht das Abklingen nach momentane Anblicke in etwas verschiedener Weise, je nach ihrer Verwandtschaft n den Farbentönen des abklingenden Weifs. Beim *Grün* ist es meist a einfachsten, weil seine Complementärfarbe Rosaroth dem Rosaroth des a klingenden Weifs gleich ist. Dieser Farbenton entwickelt sich deshalb b sonders hell und schön. *Grünliches Blau* geht durch Blau und Viole *Blau* durch Violett in Rosaroth über, im letzteren Falle entwickelt sich d
378 folgende Phase des Gelb reiner und kräftiger, weil sie mit der Compleme tärfarbe des Blau zusammenfällt. Die *vor* dem Rosaroth liegende grü blaue und blaue Phase des abklingenden Weifs kann sich bei den bish genannten Farben wegen ihrer Ähnlichkeit mit diesen Farben selbst nic wohl bemerklich machen, scheint es aber zu thun beim *Gelb*, welch durch grünliches Weifs in Violett übergeht, und beim *Roth*. Bei de letzteren tritt statt des Rosaroth mehr eine violette, später graugrüne Far ein. Es schwindet übrigens verhältnifsmäfsig am schnellsten. Dafs die grü Stufe, wenn man keine anderen Farben zur Vergleichung im Gesichtsfel hat, häufig gesättigt grün erscheint, ist schon vorher erwähnt. Es stimm mit diesen Beobachtungen im Wesentlichen auch die Versuche von Aube welche er bei Betrachtung des elektrischen Funken durch farbige Gläs erhielt, nur das sehr gemischte Gelb gab ihm noch die gelbe Stufe des a klingenden Weifs nach dem Violett, ehe es zum negativen Blau kam. Me auch bildete sich ein Lichthof, der die Stadien schneller durchlief.

Nach längerer oder stärkerer Einwirkung primären farbigen Lic machen sich ebenfalls während des Überganges von dem positiven glei farbigen zum negativen complementärgefärbten Bilde einige von den Phas merklich, welche weifses Licht zu dieser Zeit zeigt. Namentlich tritt vi fach der rothe Saum, und um diesen der blaugraue Saum auf. Fechn hat dergleichen Versuche angestellt, indem er durch Combinationen v schiedener farbiger Mittel, welche nur eine oder zwei Farben des Spectr

rchliefsen, nach der Sonne sah; ich selbst kann einige Beobachtungen nzufügen, welche ich mit prismatischen Farben angestellt habe, indem ich ne runde Öffnung betrachtete, durch welche Sonnenstrahlen, die ein Prisma ssirt hatten, traten. Wenn das farbige Licht so intensiv ist, dafs es weifs er gelb erscheint, so bleibt dies auch anfangs im Nachbilde, dann entkelt sich aber allmälig die eigentliche Farbe deutlich.

Homogenes rothes Licht brachte Fechner hervor, indem er theils rch ein rothes Glas, theils durch eine dicke Schicht Lackmustinctur nach r Sonne sah. Bei directer Betrachtung erschien es wegen seiner hohen ensität gelb. Auch das Nachbild war anfangs gelb, am Rande roth, und rde später durch Verminderung seiner Intensität ganz roth, gleichzeitig ichte ein schwarzblaugrüner Saum auf. Im dunkeln Felde entwickelt sich diesem Versuche gewöhnlich kein deutliches negatives Bild. Auf weifsem und dagegen wird die grünblaue Farbe des Saumes central. Ich habe selbe an prismatischem Roth gesehen. Der Übergang vom Roth zum ünblau geschah bei diesen Versuchen durch Violett. Nach etwas anernder Betrachtung einer Flamme durch ein rothes Glas geschieht dagegen meist durch ein positives Gelbgrün, dem das negative Grünu folgt.

Homogenes Gelb erhielt Fechner durch Combination zweier blafsben, eines grünen und eines blafsrothen Glases, wobei aufser Gelb nur nig Grün durchging. Das Nachbild erschien gelb mit rothem Rande, um teren bildete sich ein dunkel blaugrüner Ring. Bei einem einfachen ben Glase, welches Roth, Gelb, Grün und eine Spur von Blau durchliefs, te sich Gelb, Grün, dann Blaugrau mit rothwarzem Umring. Bei nem prismatischen Gelb sah ich ebenfalls den Übergang in Grün und den schwarzen Umring. Das Grün und Roth kommen im Nachbilde des 379
ifs unter denselben Umständen vor. Dagegen sah Purkinje,[1] nachdem eine Kerzenflamme 12 bis 60 Secunden angeschaut hatte, die Farbene: blendend weifs, gelb, roth, blau, mild weifs, schwarz.

Ziemlich reines Grün, mit Gelb gemischt, erhielt Fechner durch ein nes, ein hellblaues und zwei hellgelbe Gläser. Die Sonne erschien dach grünlichweifs; ebenso das Nachbild mit schwarzrothem Umringe. n, mit sehr wenig Blau und Gelb gemischt, erhielt er durch drei grüne ein gelbes Glas. Die Sonne erschien fast weifs, das Nachbild ebenso is grünlich mit bläulichweifsem Saum, später bläulichweifs mit schwarzem Umring, um den eine Zeit lang ein schwach lilafarbener Schein tbar war. Ich selbst erhielt von prismatischem Grün ein grünes Nachblau gesäumt, und auf weifsem Grunde dunkles Purpur, gelb gesäumt.

Blau, mit Grün gemischt, erhielt Fechner durch eine Kupferlösung. Sonne erschien, dadurch gesehen, weifs. Das Nachbild anfangs ebenso s, dann blau. Es entwickelte sich dann ein positiv grüner, um diesen

[1] J. Purkinje, Beobachtungen und Versuche. I. 100. 1819.

ein negativ rother Rand. Prismatisches Blau erzeugte mir ebenfalls den p purnen Saum, während die Umgebung complementär Goldgelb gefärbt erschi

Homogenes Violett erhielt Fechner mittels einer dicken Schi schwefelsaurer Kupferlösung, mit Ammoniak versetzt, und eines violet Glases. Die Sonne erschien bläulichweifs. Ebenso anfangs das Nachbi es bekam dann einen dunkelvioletten, um diesen einen schwarzrothen U ring, die Umgebung grünlich. Die Erscheinung verschwand, ehe der Umr central wurde.

In allen diesen Fällen zeigt sich, wo der Saum des Nachbildes anfä negativ zu werden, der rothe Saum, der auch bei den Nachbildern Weifs eintritt, als wäre die homogene Farbe mit Weifs gemischt, des Abklingungsphasen sich merklich machen zu der Zeit, wo die positive Na wirkung der Hauptfarbe mit der complementären negativen sich im Gle gewicht hält.

Wenn das primär gesehene weifse oder farbige Licht von gerin Stärke oder bei mäfsiger Stärke von sehr geringer Dauer ist, so blei positive Bilder zurück, die durch sehr schwach gefärbte weifsliche Töne klingen, deren Farbenton schwer zu benennen ist und durch Contraste der auffälligsten Weise abgeändert werden kann, wodurch denn die sond barsten scheinbaren Widersprüche in den Resultaten eintreten. Hat n viele verschieden gefärbte Objecte im Gesichtsfelde, so blassen die Farb unterschiede im Nachbilde aus. Dieser Art scheinen auch die von Aub bei Beleuchtung farbiger Objecte mit dem elektrischen Funken erhalte Nachbilder gewesen zu sein. So erscheinen ihm rothe Quadrate auf W im Nachbilde roth, ein breiterer rother Streifen, aus demselben Papier schnitten, mit weifsen Quadraten auf weifsem Grunde dagegen grün. Nachbild blauer und gelber Streifen mit schwarzen Quadraten auf schwar Grunde erschien ihm immer gelb, auf weifsem Grunde lieferten b Streifen blaue Nachbilder. Wovon diese Verschiedenheiten abhingen, bl noch zu ermitteln.

380 Andere Erscheinungen des farbigen Abklingens beobachtet man an tirenden Scheiben, welche schwarze und weifse Sectoren haben, und n so schnell rotiren, dafs ein ganz continuirlicher Eindruck im Auge entst Wenn man eine solche Scheibe anfangs langsam, dann allmälig schne rotiren läfst, und sie anhaltend betrachtet, aber so, dafs man vermeidet bewegten Figur mit dem Blicke zu folgen, bemerkt man, dafs das W sich färbt, und zwar an dem vorangehenden Rande röthlich, an dem hinte folgenden bläulich. Bei schwächerem Licht zieht der röthliche Farbe mehr in das Rothgelbe, der bläuliche in Violett, bei stärkerem der erst Rosaroth, der letztere in Grünblau. Bei langsamer Rotation ist der bläul Ton anfangs über einen breiteren Theil des Weifs ausgedehnt als der r liche. Bei schneller Rotation dagegen breitet sich das Roth als Rosa über das ganze Weifs aus, während das Grünblau auf die schwarzen Sect hinüberrückt; im Ganzen erscheint dann auf der Scheibe das Violett zu ü

wiegen. Bei noch schnellerer Rotation kann man die verschiedenen Sectoren nicht mehr von einander scheiden, man sieht dann das Feld fein gesprenkelt, und die Flecke zwischen violettem Rosa und Grüngrau hin und her flimmern. Endlich bei noch weiterer Steigerung der Rotationsgeschwindigkeit wird das Flimmern schwächer, die graue Mischfarbe des Weifs und Schwarz tritt immer mehr hervor, und ist nur noch von veränderlichen gröfseren Flecken von violettem Rosa überlaufen, welche wie die Flecken und Streifen in gewässertem Seidenzeug geformt sind.

Man sieht diese verschiedenen Stadien der Erscheinung sehr gut neben einander, wenn man eine Scheibe in drei concentrische Ringe abtheilt, wie in *Fig. 195*, und dem innersten 2 schwarze und 2 weifse Sectoren, dem mittleren von beiden je 4, dem äufseren je 8 giebt. Wenn die Scheibe mit gewisser Schnelligkeit rotirt, hat man auf dem innersten Felde die überwiegend grünliche Färbung des Weifs, im mittleren die rosarothe, im äufsern das feingesprenkelte Flimmern. Bei gröfserer Geschwindigkeit zeigt das innere Feld die rosarothe Färbung, das mittlere das feingesprenkelte Flimmern, das äufsere das mit Violett gewässerte Grau. Ich bemerke dabei noch, dafs derjenige Streif, auf welchem das Rosaroth am reinsten entwickelt ist, immer dunkler erscheint als die benachbarten Streifen,



Fig. 195.

n denen der Wechsel langsamer oder schneller stattfindet. Die Ordnung ler Farben, wie sie zuerst auf den weifsen Streifen auftreten, ist an einer n Sectoren getheilten Scheibe erst nach einiger Übung zu erkennen, eichter an einer Scheibe (*Fig. 196*), ie von einer schwarzen und einer leich breiten weifsen Spirallinie beeckt ist. Es geht daraus hervor, dafs enn ein Punkt der Retina in schneller bwechselung von weifsem Lichte geoffen und wieder verdunkelt wird, so afs die Netzhaut sich im Zustande abechselnd steigender und sinkender Ergung findet, die Zeit der Maxima er Erregung nicht für alle Farben uf denselben Augenblick fällt, ndern die Erregung für Roth und iolett früher eintritt als für Grün.



Fig. 196.

Es treten diese Farbenerscheinungen 381
wöhnlich nicht im ersten Augenblicke des Hinsehens ein, sondern erst ach einiger Zeit, und werden dann allmälig immer glänzender. Es scheint

also ein gewisser Grad von Ermüdung des Auges durch das flimmernde Lic dafür nothwendig zu sein. Aufserdem verbinden sich damit nun noch ande Erscheinungen, welche von einer verschiedenen Empfänglichkeit verschieden Stellen der Netzhaut für diese Art von Reizung herzurühren scheine Es werden nämlich in dem flimmernden Licht gewisse Muster sichtbar, d zum Theil in Beziehung zu bestimmten Stellen der Netzhaut stehen.

PURKINJES[1] Lichtschattenfigur. Wenn nämlich die Geschwindigk Scheibe so grofs geworden ist, dafs man die einzelnen Sectoren nicht mehr d einzeln erkennt, so erscheint die Zahl der Sectoren vermehrt, und diese bild gleichsam ein Gitter von verwaschen gezeichneten und gekrümmten Stäbe dessen Maschen in Richtung des Radius der Scheibe am längsten sind. I steigender Schnelligkeit der Bewegung wird die Zeichnung feiner, ähnlich d eines Stickmusters, und es erscheint an derjenigen Stelle des flimmernden Feld welche dem gelben Flecke entspricht, eine eigenthümliche in schärferen Gege sätzen von Licht und Dunkel gezeichnete rundliche oder querovale Figur, vergleichen etwa mit einer vierblätterigen Rose, deren Blätter aber sich ein sechseckigen Form nähern. In ihrem Centrum steht ein dunkler Punkt, v einem hellen Kreis umgeben. Dieselben Figuren kann man auch hervorbring indem man mit geschlossenen Augenlidern sich gegen ein helles Licht keh und die aus einander gespreizten Finger vor dem Auge hin und her bewe so dafs das Auge in schnellem Wechsel beleuchtet und beschattet wird. Üb haupt kommt es nur darauf an, einen solchen schnellen Wechsel von Schatt und Licht hervorzubringen. PURKINJE unterscheidet bei diesen Figuren primären und secundären Gestalten. Die primären Gestalten sind in sein rechten Auge gröfsere und kleinere Vierecke, schachbrettartig dunkel und h wechselnd, die den gröfsten Theil des Gesichtsfeldes überziehen. Nur abwä vom Mittelpunkte sieht er gröfsere Sechsecke in einer Strecke ausgebreit Von der in meinen Augen ziemlich regelmäfsig ausgebildeten Rosette des gell Flecks scheint er nur einzelne Züge gesehen zu haben, dagegen sind bei i die Flecken aufserhalb des Centrum weder regelmäfsig viereckig noch sec eckig, sondern unregelmäfsig, nach der Peripherie an Gröfse zunehme
382 Aehnlich sah sie auch PURKINJE mit seinem schwachsichtigen linken Au Als secundäre Gestalten, die namentlich, wenn er die geschlossenen Aug lider gegen die Sonne kehrt, erscheinen, beschreibt PURKINJE achtstrahl Sterne und eigenthümliche eckig gebrochene Spirallinien, welche sich den primären Mustern durch Verschiebung der hellen und dunkeln Viere entwickeln, übrigens sehr wandelbar sind. Die secundären Gestalten erschie ihm im linken, wie im rechten Auge nur symmetrisch umgestellt.

Beobachtet man diese Erscheinungen auf den rotirenden Scheiben, verwischt sich bei gröfserer Geschwindigkeit die Erscheinung immer me und es bleiben nur noch die gewässerten Flecke als letzter Rest zurück, schon vorher beschrieben sind. Zur Zeit, wo das Flimmern am heftigs

---

[1] PURKINJE, *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* Bd. I. Prag 1823. S. 10.

ist, verschwindet bei recht starrem Hinblicken zuweilen die ganze Figur, und es wird anscheinend hinter ihr ein dunkelrother Grund sichtbar, in welchem eine grofse Menge in einander verschlungener Strömungen vorhanden zu sein scheint, eine Erscheinung, in der VIERORDT[1] den Blutlauf der Netzhautgefäfse zu erkennen glaubt. In meinen eigenen Augen entspricht das Bild dieser Bewegung mehr uferlosen Strömungen, die fortdauernd ihr Bett wechseln und sich hin und her schieben. Man könnte allerdings daran denken, dafs die intermittirende Beleuchtung die Bewegung der Blutkörperchen sichtbar mache, ebenso wie man dadurch die Bewegungen und Formen der Tropfen eines ausfliefsenden Strahls sichtbar macht. Aber was ich selbst davon gesehen habe, würde ich nicht wagen für Blutbewegung zu erklären, eher glaube ich, dafs Lymphkörperchen, welche im Blute sparsamer vorkommen als helle Flecke, die durch das Gesichtsfeld schiefsen, dabei sichtbar werden.

Läfst man auf den flimmernden Scheiben farbiges Licht mit Schwarz wechseln, indem man entweder auf den Scheiben farbige Sectoren anbringt, oder die schwarzweifsen Scheiben durch farbige Gläser betrachtet, so zeigen auch unter diesen Umständen selbst homogene Farben Spuren von farbigem Abklingen. Sieht man z. B. durch ein rothes Glas, welches keine andere Farbe als Roth hindurchläfst, so erscheint der vorausgehende Rand der hellen Felder orange, der nachfolgende rosaroth, entsprechend dem gelb und blau im weifsen Licht. Der schwarze Grund überzieht sich gleichzeitig mit complementärem Grün. Noch deutlicher wird die Complementärfarbe,[2] wenn man von den Spiralbändern das eine farbig, das andere grau macht, die Scheibe eine Weile laufen läfst und dann plötzlich anhält, oder auch wenn man mit einer Scheibe mit abwechselnd farbigen und weifsen oder grauen Sectoren ebenso verfährt. SINSTEDEN[3] brauchte zu demselben Zwecke eine orangerothe Scheibe mit ausgeschnittenen Sectoren, die über einer weifsen, beschatteten lief. Wenn er die obere anhielt, erschien die untere lebhaft blau.

Aehnliche Erscheinungen erhielt auch E. BRÜCKE, indem er eine kleine schwarze Scheibe vor einer farbigen Glastafel in schwingende Bewegung setzte. Namentlich auffallend war dabei die Erscheinung vor einer grünen Scheibe, indem die Stellen, vor denen Hell und Dunkel wechselte, rosaroth erschienen, die ganz bedeckten und ganz unbedeckten dagegen grün.

Ein eigenthümliches vielleicht hierher gehöriges Phänomen sind die 383
sogenannten flatternden Herzen. Auf farbigen Blättern aus steifem Papier sind Figuren von einer anderen lebhaften Farbe angebracht; am besten scheinen Roth und Blau zu wirken, die Farben müssen sehr lebhaft und gesättigt sein. Wenn man die Blätter betrachtet und mit einer gewissen Geschwindigkeit hin und her bewegt, scheinen die Figuren selbst gegen das Papier sich zu verschieben und auf diesem hin und her zu schwanken. Der

[1] VIERORDT, *Archiv für physiol. Heilkunde.* 1856. Heft II.
[2] H. W. DOVE in *Pogg. Ann.* LXXV. 526. 1848.
[3] SINSTEDEN, Ebenda. LXXXIV. 45. 1850

Grund der Erscheinung scheint darin zu liegen, dafs der Lichteindruck i Auge für die verschiedenen Farben nicht gleich schnell zu Stande kom und vergeht, und deshalb das Blau in der von dem Blatte beschriebene Bahn scheinbar etwas hinter dem Roth zurückbleibt. Etwas Aehnliches wi auch wahrgenommen, wenn man das Auge statt des Objects bewegt. S sahen Wheatstone,[1] Brücke und E. du Bois-Reymond[2] bei Gasbeleuc tung, wenn sie das Auge über rothe und grüne Tapeten hinstreifen liefse dafs das Muster sich scheinbar bewegte. Nach Brewster sieht man auch, wenn helles Tageslicht durch ein kleines Loch in ein sonst dunkl Zimmer fällt.

Ich habe in der bisher gegebenen Darstellung mich der namentlich v Fechner durchgeführten Ansicht angeschlossen, wonach alle Erscheinungen d Nachbilder theils in einer noch fortbestehenden Reizung der Netzhaut, theils einer verminderten Reizempfänglichkeit derselben ihren Grund finden. In der Th wenn man die bisherige Bedeutung des Begriffs Reizung und Reizempfänglichk festhält, müssen wir von fortbestehender Reizung sprechen, wenn ein Auge im a solutem Dunkel ein positives Nachbild sieht, und wir müssen die Reizempfänglichk als vermindert betrachten, wenn das Auge am Orte eines negativen Nachbil äufseres Licht schwächer empfindet, als mit der nicht ermüdeten Netzhaut. D also Reizung fortbesteht und die Reizempfänglichkeit vermindert sei, ist kei Hypothese, sondern unmittelbarer Ausdruck der Thatsachen. Auch genügen di beiden Umstände, um die bei weitem gröfste Zahl der augenfälligeren und co stanten Erscheinungen dieses Gebiets zu erklären, namentlich die Erscheinungen veränderten Lichtintensität, der positiven gleichfarbigen und negativen complem tären Nachbilder. Ob wir es dabei nur mit einer Störung der Thätigkeit Nervensubstanz zu thun haben, und wieviel dabei vielleicht die photochemisch Veränderungen der Pigmente der Retina mitspielen müssen wir vorläufig dah gestellt sein lassen. Die sehr zusammengesetzten Erscheinungen des farbigen A klingens starker oder anhaltender Lichteindrücke vollständig auf ein einfacl Schema zurückzuführen, möchte freilich vor der Hand noch schwer sein und allei willkürliche Annahmen nothwendig machen. Indessen läfst sich einsehen, war diese Erscheinungen so veränderlich sein müssen. Wir kennen eben weder Gesetz, wonach eine mehr oder weniger vorgeschrittene Ermüdung des Auges die einzelnen Farben verschwindet, noch die Abhängigkeit, in welcher die Stä des nachbleibenden Lichteindrucks von der Ermüdung steht. Die negativen co plementären Bilder im dunkeln Gesichtsfelde sind hierbei nach Fechners Ansi als veränderte Empfindungsweisen der inneren Reize der Netzhaut anzusehen. Vi Physiker haben dagegen diese Bilder als Wirkungen einer neuen entgegengesetz Thätigkeit der Netzhaut angesehen, und namentlich hat Plateau[3] diese Ansi zu einer zusammenhängenden Theorie ausgebildet. Er wies nach, dafs man d gleichen complementär gefärbte Bilder auch beim gänzlichen Mangel alles äufse Lichtes sehen könne, und da er auf das Eigenlicht des Auges noch nicht a
384 merksam geworden war, wufste er die Erscheinung eben nicht anders als du

---

[1] Wheatstone, *Inst.* No. 582. p. 75. 1845.

[2] Brücke und E. du Bois-Reymond, *Die Fortschritte in der Physik im Jahre 1845*, redig. von Karst I. 223.

[3] J. Plateau, *Ann. de Chim. et de Phys.* LIII. 386. 1833. *Pogg. Ann.* XXXII. 543. 1833.

eine neue entgegengesetzte Thätigkeit der Netzhaut zu erklären. Da er weiter auch noch spätere Wechsel des positiven und negativen Bildes bemerkte, so stellte er den Satz auf, dafs die Netzhaut nach jedem heftigen Lichteindruck erst durch eine Reihe von Oscillationen zur Ruhe käme, wobei sie abwechselnd nach einander entgegengesetzte Zustände durchlaufen sollte. Diese entgegengesetzten Zustände entsprächen der Empfindung complementärer Farben. Er brachte dies in Verbindung mit gewissen Contrasterscheinungen, die im nächsten Paragraphen näher besprochen werden sollen, und nahm auch für die räumliche Ausbreitung des Eindrucks eine Reihe solcher Oscillationen an. Dagegen ist eben zu erinnern, dafs die negativen complementären Nachbilder nicht in einer activen Thätigkeit der Netzhaut bestehen, sondern im Gegentheil als Verminderungen der schon vorher bestehenden inneren Lichtempfindung sichtbar werden; und dafs ferner jene Wechsel zwischen positiven und negativen Bildern, wie man bei genauer Aufmerksamkeit fast immer erkennt, von äufseren Umständen, namentlich von schwachen Änderungen in der Beleuchtung des Augengrundes abhängen. Ich halte es für sehr mifslich, diese zarten, äufserst schwankenden Erscheinungen, wie es die Nachbilder zur Zeit ihres Kampfes zwischen positiv und negativ im dunkeln Gesichtsfelde sind, bei der hoch gesteigerten Empfindlichkeit des Organs, welches lange im Dunkeln verweilt hat, wo nachweisbar kaum wahrnehmbare äufsere Einflüsse die Verwandlung des Bildes herbeiführen, als Basis einer Theorie zu benutzen. Wir dürfen uns aber nicht wundern, wenn wir unter diesen Umständen noch nicht immer den Grund der eintretenden Veränderungen zu bezeichnen wissen. Übrigens hat schon Fechner auf eine andere Schwierigkeit von Plateaus Theorie aufmerksam gemacht. Dieser mufs nämlich annehmen, dafs bei den Nachbildern die complementären Farben als entgegengesetzte Thätigkeiten der Netzhaut sich einander aufheben und Dunkelheit erzeugen. Wenn z. B. ein complementär gefärbtes Nachbild besteht, ist die Wahrnehmung der primären Farbe beeinträchtigt. Wenn man nach einander das Auge durch grün und roth ermüdet hat, ist das Nachbild schwarz. Wie läfst sich aber diese Behauptung vereinigen mit der Thatsache, dafs die gleichzeitig von objectivem complementären Lichte hervorgebrachten Empfindungen sich zu der von Weifs vereinigen, welches heller ist als jede der beiden Farben einzeln genommen?

Brücke betrachtet die positiv complementären Nachbilder als unvereinbar mit Fechners Theorie. Ich habe schon vorher darauf aufmerksam gemacht, dafs die Färbung dieser Bilder in der That sehr weifslich ist und nur durch den Contrast gegen die vorher gesehene primäre Farbe und den mangelnden Vergleich mit anderen Farben die complementäre Farbe so grell hervortritt. Hat man gleichzeitig zwei primäre Farben neben einander gesehen, so überzeugt man sich leicht davon, dafs ihre Nachbilder in den letzten Augenblicken ihrer positiven Erscheinung nur einen geringen Hauch der complementären Farben zeigen, so dafs ich glaube, diese Bilder als aus einem positiven weifslichen Nachbilde und einem negativen complementären gemischt ansehen zu dürfen und dadurch diese Erscheinung auch unter Fechners Erklärung fügen zu können. Zu erwähnen ist noch eine räthselhafte Erscheinung, die Aubert beschreibt bei den Nachbildern von Gegenständen, die durch den elektrischen Funken beleuchtet waren. Hier sah er bei schwarzen und rothen Quadraten auf weifsem Grunde scheinbar gleichzeitig mit dem überschlagenden Funken leuchtende negative Bilder. Diese fehlten aber bei weifsen Quadraten auf schwarzem Grunde, zuweilen erschienen sie gegen das Urbild verschoben. Ihnen folgten erst die gleich-

farbigen positiven Bilder. Von farbigen Streifen auf weifsem oder schwarz Grunde sollen die Nachbilder immer complementär gefärbt und immer heller der Grund gewesen sein.

385 Ich halte es überhaupt für gerathen, in diesem äufserst verwirrten Gebi der mannigfaltigsten Erscheinungen eine theoretische Ansicht, die wie die FECHNE sche bei weitem die gröfste Zahl der hierher gehörigen Erscheinungen leicht erklä und namentlich alle diejenigen gut erklärt, welche sich durch ihre Energie, De lichkeit und Constanz auszeichnen, als leitenden Faden festzuhalten, selbst we sich auch einzelne flüchtigere Erscheinungen finden, für welche man gegenwär noch keine ganz genügende Erklärung geben kann, wie es die Farbenwandlung sind, die in dem Augenblicke erfolgen, wo das Bild aus positiv in negativ überg und wo die entgegengesetzten Einflüsse der nachdauernden Reizung und der E müdung sich in einem leicht veränderlichen Gleichgewichte befinden. Für je habe ich noch keine Erscheinung auffinden können, welche entschieden unvereinl mit FECHNER's Erklärungsprincipien wäre.

Beschrieben werden die positiven und negativen Nachbilder der Fenster 1634 v PEIRESC.[1] Dann tritt der Versuch als eine Art Kunststück auf. BONACURSIUS behaup gegen den Jesuiten ATHAN. KIRCHER,[2] er könne bewirken, dafs man im Finstern ebe gut sehe, wie im Hellen, und behielt Recht, indem er KIRCHER im dunkeln Zimmer e in einer Öffnung des Fensters befestigte Zeichnung starr betrachten liefs. Dann wu das Zimmer ganz verdunkelt, und KIRCHER sah die Zeichnung deutlich wieder, indem (was unnöthig war) nach einem in der Hand gehaltenen weifsen Papier blickte. KIRC giebt die Erklärung dazu, dafs das Auge das eingesogene Licht wieder ausstrahle das vorgehaltene Papier beleuchte. MARIOTTE[3] wiederholte ähnliche Versuche. NEW kannte die Blendungsbilder, und soll sie für psychischer Natur erklärt haben,[4] weil die Nachbilder, welche durch Blicken nach der Sonne erzeugt waren, noch längere Z dadurch wieder hervorrufen konnte, dafs er die Aufmerksamkeit auf sie richtete. wurde zu diesen Versuchen veranlafst durch eine Anfrage von LOCKE, der sie in B BOYLES Buch über die Farben erwähnt gefunden hatte. Eine vollständigere Theorie Erscheinungen gab dann JURIN[5] im Jahre 1738, und zwar gründete er sie theils auf Fortdauer der Reizung, theils auf die Annahme, dafs beim Aufhören einer stark an regten Empfindung von selbst eine entgegengesetzte hervorgerufen würde. Ausführli Beschreibungen der Erscheinungen gab BUFFON,[6] die dann später dem Pater SCHERFF das Material zur Begründung seiner Theorie gaben. Dieser stellte im Gegensatz JURIN die Ansicht auf, dafs die Nachbilder — er kennt fast nur negative — durch verminderte Empfindlichkeit der ermüdeten Netzhaut entstehen. Dasselbe Princip wen er auch zur Erklärung der complementären Farbe an, indem er sich dabei auf NEWT Farbenmischungsregel stützt. Eine andere etwas willkürlich aufgeputzte Theorie di Erscheinungen, die aber schon an PLATEAUS Oscillationen erinnert, gab GODART.[8] E Menge von Beobachtungen kamen weiter hinzu durch DARWIN,[9] namentlich über

1 PEIRESC, Vita. p. 175, 296. 1634.
2 ATHAN. KIRCHER, Ars magna. p. 162. 1646.
3 MARIOTTE, *Oeuvres.* p. 318. 1668.
4 D. BREWSTER, *Newton's Leben* übers. von GOLDBERG. Leipzig 1833. S. 263.
5 JURIN, Essay on distinct and ind. vis. p. 170 in *Smith's Optics.* Cambridge 1738.
6 BUFFON, *Mém. de Paris.* 1743. p. 215.
7 SCHERFFER, Abhandlung von den zufälligen Farben. Wien 1765. — Lateinisch vom Jahre auch im *Journal de Physique de* ROZIER. XXVI. 175 und 273. (1785).*
8 GODART, *Journal de Physique.* 1776. VIII. 1 und 269.
9 DARWIN, *Philos. Transact.* 1786. LXXVI. 313. — Zoonomie übers. von BRANDIS. Hann 1795. II. 387.

farbigen Nachbilder, durch AEPINUS[1] und DE LA HIRE[2] über das farbige Abklingen des Sonnenbildes, durch GERGONNE,[3] BROCKEDON,[4] der sie zugleich zu einer Theorie der ästhetischen Farbenharmonie zu verwenden suchte, LEHOT,[5] der namentlich auf die Erscheinungen aufmerksam machte, die bei plötzlicher Änderung der Entfernung eines farbigen Feldes entstehen, GOETHE,[6] BEER[7] über Verschwinden der Farben durch Hinstarren bei operirten Staarkranken, HIMLY und TROXLER,[8] PURKINJE,[9] OSANN,[10] SPLITTGERBER,[11] KNOCHENHAUER,[12] DOVE[13] über subjective Farben an bewegten Objecten, SINSTEDEN,[14] 386
SCORESBY,[15] GROVE[16] über die Wiederbelebung von Nachbildern durch abwechelnde Erhellung und Verdunkelung des Gesichtsfeldes, SÉGUIN[17] (viele und genaue Beobachtungen über Abklingen der Farben), BRÜCKE,[18] AUBERT[19] über Nachbilder durch den elektrischen Funken erzeugt.

Von Versuchen zur theoretischen Zusammenfassung und Erklärung der hierher gehörigen Erscheinungen ist noch weiter zu erwähnen der Versuch von PRIEUR DE LA CÔTE D'OR,[20] sie auf das Princip des Contrastes zurückzuführen, ferner die von BREWSTER aufgestellte Ansicht,[21] dafs die complementäre Farbe sich zugleich mit der gesehenen entwickele und diese trübe. Es liefen die entgegenstehenden Ansichten zuletzt aus in die beiden zusammenfassenden Arbeiten von PLATEAU[22] und FECHNER.[23] Der erstere brachte die Meinungen, welche entgegengesetzte Thätigkeiten der Netzhaut annehmen, in eine consequente Form, FECHNER dagegen, der mit einer aufserordentlichen Selbstaufopferung auch gleichzeitig eine grofse Reihe genauer, selbst messender Versuche in diesem Gebiete ausgeführt hat, gab zuerst eine genügende Herleitung der negativen Bilder aus dem Princip der Ermüdung. Diese beiden Arbeiten bezeichnen im Wesentlichen noch den gegenwärtigen Stand der Wissenschaft. Der Begriff der Ermüdung des Auges für eine einzelne Farbe bedurfte aber noch einer näheren Definition. Die Farbentheorie von TH. YOUNG gab eine solche. Um sie zu prüfen, habe ich die Versuche über die Nachbilder der Spectralfarben ausgeführt,[24] wobei ich auf die grofse Deutlichkeit der positiven Nachbilder nach momentaner Lichtwirkung aufmerksam wurde.

§ 24. Vom Contraste.

Wir haben im vorigen Paragraphen untersucht, wie nach einander gesehene Farben sich gegenseitig verändern. Es bleibt uns jetzt noch übrig 388

---

1 AEPINUS, *Journ. de Phys.* XXVI. 291. 1776. — Novi Comment. Petrop. X. 286.
2 DE LA HIRE, bei PORTERFIELD *on the eye.* I. 343.
3 GERGONNE, *Journ. de Mathemat.* XXI. 291. 1830.
4 BROCKEDON, *Quart. Journal of Sc.* N. XIV. 399: *Wiener Zeitschr.* VIII. 471.
5 LEHOT, *Fechner, Repertorium* 1832. p. 229.
6 GOETHE, *Farbenlehre.* I. 13, 20.
7 BEER, *Das Auge oder Versuch das edelste Geschenk des Schöpfers zu erhalten.* S. 1—8
8 HIMLY, *Ophthalmol. Bibl.* Bd. I. Stück 2. S. 1—20. Bd II. St. 2. S. 40.
9 PURKINJE, *Beiträge.* I. 72, 96. 1819.
10 OSANN, *Pogg. Ann.* XXXVII. 288. 1836.
11 SPLITTGERBER, Ebenda. IL. 587. 1840.
12 KNOCHENHAUER, Ebenda. LIII. 346. 1841.
13 DOVE, Ebenda. LXXI. 112. LXXV. 524, 526. 1848.
14 SINSTEDEN, Ebenda. LXXXIV. 45. 1850.
15 SCORESBY, *Philosoph. Mag.* (4) VIII. 544. 1854.
16 GROVE, Ebenda. (4) III. 435—436. 1852.
17 SÉGUIN, *Ann. de Chimie et de Phys.* Sér. 3. XLI. 413—431. 1850. C. R. XXXIII. 642. XXXIV. XXXV. 476. 1850.
18 BRÜCKE, Denkschr. d. k. k. Akad. zu Wien III: *Pogg. Ann.* LXXXIV. 418. 1850.
19 AUBERT, *Moleschott, Untersuchungen zur Naturl.* Bd. V. 279. 1858.
20 PRIEUR DE LA COTE D'OR, *Ann. de Chimie.* LIV. p. 1. 1804.
21 BREWSTER, *Phil. Mag.* II. 89. IV. 354. 1833. — *Pogg. Ann.* XXIX. LVI. 138.
22 PLATEAU, *Ann. de Chimie et de Phys.* 1833. LIII. 386; 1835. LVIII. 337; *Pogg. Ann.* XXXII. 543. Am vollständigsten in *Essai d'une Théorie génér. comprenant l'Ensemble des apparences visuelles, qui succèdent á la contemplation des objets colorés.* Bruxelles 1834.
23 FECHNER, *Pogg. Ann.* XXXXIV. 221, 513. 1838. XXXXV. 227; L. 193, 427. 1838.
24 Öffentlich vorgetragen in der Sitzung der niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde in Bonn am 3. Juli 1858 und in der Naturforscherversammlung zu Carlsruhe September 1858.

zu untersuchen, welchen Einflufs verschiedene im Gesichtsfelde neben e ander gleichzeitig erscheinende Helligkeiten und Farben auf einand ausüben.

Da der Erfolg einer solchen Nebeneinanderstellung meistentheils der i dafs jeder Theil des Gesichtsfeldes neben einem helleren dunkler, neben ein dunkleren heller aussieht, und seine Farbe neben einer anderen Farbe sehen sich mehr oder weniger der Complementärfarbe der letzteren annäher so hat der hierin sich aussprechende Gegensatz zu dem Namen des Co trastes Veranlassung gegeben. Genauer unterscheidet CHEVREUL die hi her gehörigen Erscheinungen unter dem Namen des simultanen Contrast von denjenigen, wo zwei Farben nach einander auf derselben Netzhautste erscheinen, welche er mit dem Namen des successiven Contrastes bele

Es kommen nun aber auch Fälle vor, wo die Farbe eines Theiles Gesichtsfeldes durch Nebensetzung einer anderen Farbe so verändert wi dafs sie der letzteren selbst, nicht ihrer Complementärfarbe ähnlicher wi Auf diese würde der Name des Contrastes nicht unmittelbar passen, we auch vielleicht in Wirklichkeit hier die eine Farbe durch einen Contr gegen die Complementärfarbe der anderen verändert wird. Um nun sol Fälle durch die Bezeichnung nicht auszuschliessen, bezeichnet BRÜCKE diejen Farbe, welche durch die Wirkung einer im Gesichtsfelde daneben stehend hervorgebracht wird, als die inducirte Farbe, und diejenige andere, wel die Veranlassung zur Erscheinung jener ersten giebt, als die induciren Farbe. Dabei wollen wir, wenn das Feld, dessen Farbe verändert ist, sel farbig ist, dessen Farbe wie früher die reagirende nennen. Indem reagirende Farbe durch die inducirte verändert wird, entsteht die resultiren Farbe. Im Allgemeinen passen also unmittelbar unter den Begriff des C trastes nur die gewöhnlichen Fälle, wo die inducirte Farbe der inducirend complementär ist. Es kommen aber Fälle vor, wo die inducirte Farbe inducirenden gleich ist.

Was zunächst die Erscheinungen des successiven Contrastes betr so ergeben sich diese leicht aus dem, was im vorigen Paragraphen gesagt Hat man ein Feld von der Farbe A und mittlerer Helligkeit angesch und wendet das Auge auf ein anderes von der Farbe B, so ist die na bleibende Reizung des Eindrucks A in der Regel nicht so grofs, um einem zweiten Felde von mittlerer Helligkeit ein positives Nachbild zu Sta kommen zu lassen, man sieht also ein negatives Nachbild von A auf d Felde B. Dadurch werden diejenigen Theile der Farbe B geschwächt, wel mit A gleichartig sind. Ist B von demselben Farbenton wie A, so wird durch den Contrast weisslicher oder grauer, ist es complementär, so wird gesättigter. Liegt es auf einer oder der anderen Seite des Farbenkrei zwischen A und seiner Complementärfarbe, so geht es in einen benachba Farbenton über, der, weiter von A entfernt, näher an seiner Complementärfa liegt. Übrigens erscheint B desto mehr verdunkelt, je heller A gewesen Dies wäre also das allgemeine Gesetz des successiven Contrastes, vor

esetzt solche Helligkeiten beider Felder, dafs eben nur negative Nachbilder 389
u Stande kommen.

Man kann sich nun leicht davon überzeugen, dafs der successive Contrast, d. h. der durch Nachbilder verursachte, auch dann eine grofse Rolle pielt, wenn man farbige Felder, die neben einander im Gesichtsfelde stehen, nit einander vergleicht. Man hat in diesen Fällen meist nur simultanen Contrast zu sehen geglaubt, weil man bisher eine gewisse Eigenthümlichkeit des nenschlichen Blicks in der Lehre vom Contraste wenig beachtet hat. Bei em gewöhnlichen bequemen Gebrauche unserer Augen pflegen wir nämlich en Fixationspunkt fortdauernd langsam im Gesichtsfelde wandern zu lassen, o dafs er nach einander über die verschiedenen Theile der betrachteten bjecte hingleitet. Dieses Wandern des Blicks geschieht unwillkürlich, und ir sind so daran gewöhnt, dafs es eine aufserordentliche Anstrengung und ufmerksamkeit erfordert, auch nur 10 bis 20 Secunden lang den Blick ganz charf auf einen bestimmten Punkt des Gesichtsfeldes zu fixiren. So wie ir das thun, treten auch sogleich ungewöhnliche Erscheinungen ein. Es ntwickeln sich nämlich scharf gezeichnete negative Nachbilder der Objecte, ie, so lange der Blick festgehalten wird, mit den Objecten zusammenfallen, nd diese deshalb schnell undeutlich werden lassen. Deshalb tritt denn auch ald das Gefühl von Blendung und Anstrengung des Auges ein, so lange wir ei der Fixation des Gesichtspunktes beharren, der Trieb das Auge zu beegen wird immer unwiderstehlicher und die kleinen Schwankungen seiner tellung, welche ungeachtet unserer Anstrengung eintreten, verrathen sich adurch, dafs an den Rändern der Objecte bald rechts, bald links Theile der ntstandenen negativen Nachbilder aufblitzen. Auch ist diese Wanderung es Blickes, wodurch auf sämmtlichen Theilen der Netzhaut ein fortdauerner Wechsel zwischen stärkerer und schwächerer Erregung und zwischen en verschiedenen Farben unterhalten wird, offenbar von grofser Bedeutung r die ungestörte Gesundheit und Leistungsfähigkeit des Sehnervenapparats. enn nichts greift das Auge so an, als wenn man häufig negative Nachbilder urch langes Hinstarren nach selbst nur mäfsig beleuchteten Flächen entckelt. Starke negative Nachbilder sind ja immer Zeichen hoch gesteigerter müdung der Netzhaut.

Überlegen wir nun, was geschieht, wenn bei diesem Wandern des Blicks rschieden farbige oder verschieden helle Felder im Gesichtsfelde liegen. enn wir ein begrenztes farbiges Feld mit genauer Fixation des Blicks auf nen Punkt desselben betrachten, entwickelt sich ein scharf begrenztes Nachld, welches deshalb eben leicht zu erkennen ist. Wenn wir hinter einander ei verschiedene Punkte des Objects eine Zeit lang fixirt haben, bilden h zwei gut begrenzte Nachbilder aus, die sich zum Theil decken, aber hon nicht mehr so leicht, ohne besondere Aufmerksamkeit als Abbilder s Objects erkannt werden. Ist aber der Blick langsam über den Gegennd hingegangen, ohne irgendwo anzuhalten, so ist das Nachbild natürlich r ein verwaschener Fleck, und wird, obgleich es für den aufmerksamen

Beobachter wirklich da ist, schon nicht mehr so leicht erkannt. Geht i der Blick auf ein anderes benachbartes Feld von anderer Farbe über,
390 wird diese Farbe natürlich durch den Einflufs des Nachbildes veränd gerade so als hätten wir nach einander in demselben Theile des Gesic feldes diese verschiedenen Farben gehabt. Wir haben also in einem solc Falle nicht simultanen Contrast, oder wenigstens diesen nicht allein, sond wir haben auch hier successiven Contrast, und die Erscheinungen sind g oder grofsentheils identisch mit den im vorigen Paragraphen beschrieben Um allein simultanen Contrast zu haben, müssen wir nothwendig besond dafür sorgen, dafs während des Versuchs der Blick ganz streng fixirt sei

Wir werden die Erscheinungen des reinen simultanen Contrastes, wel bei strenger Fixation des Blicks bestehen bleiben, später genauer untersuch Zunächst will ich noch die Erscheinungen beschreiben, die zum Theil (simultanen Contraste, gröfstentheils aber dem successiven angehören, wie bei dem gewöhnlichen unbefangenen Gebrauche des Auges sich zeigen. Farbenänderungen, welche dabei eintreten, sind genau dieselben, welche schon für den reinen successiven Contrast beschrieben habe. Sie sind Allgemeinen viel deutlicher und auffallender als die des reinen simultä Contrastes, und wo beide verschiedene Resultate herbeiführen könnten, ül wiegen bei dem unbefangenen Gebrauche des Auges stets die des successi Contrastes; wo beide die gleichen Wirkungen hervorbringen, werden Farbenveränderungen stets viel bedeutender, wenn man von der Fixation Blickes zur Wanderung desselben übergeht.

Im Allgemeinen ist es vortheilhaft für die Contrastwirkungen, wenn inducirende Farbe lichtstärker ist, als die reagirende, weil dann die N bilder jener lebhafter und anhaltender sind. Legt man also z. B. auf ei farbigen Papierbogen einen kleinen Kreis von weifsem Papier, so wird dies W complementär gefärbt. Die Färbung ist aber auffallender, wenn man statt W Grau nimmt, oder selbst Schwarz, da alles Schwarz bei diesen subjectiven V suchen als ein dunkles Grau zu betrachten ist. Doch ist ein mittleres G in der Regel vortheilhafter für den Versuch als Schwarz. Die Contr wirkung kann in solchen Fällen so weit gehen, dafs eine ziemlich lebh Farbe in die complementäre umgekehrt wird. Legt man z. B. auf eine r Glasscheibe ein kleines Stück orangerothes Papier (mit Mennige gefärbt) hält dies gegen den hellen Himmel, so erscheint das röthliche Papier leb grünblau, in der Complementärfarbe des rothen Glases, die nahehin seine eigene ist.

Ferner ist es vortheilhaft, wenn die inducirende Farbe einen gro Theil des Gesichtsfeldes bedeckt, weil dann die verschiedenen Netzhautste häufig und anhaltend von dieser Farbe getroffen und durch sie ermüdet den. Die Contrastfarben sind deshalb besonders lebhaft, wenn die reagire Farbe ein kleines Feld einnimmt, welches rings umgeben ist von einem gedehnten Grunde, der mit der inducirenden Farbe gefüllt ist. In die Falle wird hauptsächlich nur die Farbe des kleinen Feldes verändert, n

ie des grofsen. Aber die Contrastwirkungen fehlen auch nicht, wenn die eiden Felder gleich grofs sind, dann ist der Einflufs ein gegenseitiger, und ie Farbe eines jeden von beiden wird durch die Farbe des anderen geändert.

Endlich ist die Contrastwirkung desto grösser, je näher das inducirende 391
eld dem reagirenden im Gesichtsfelde liegt, weil, wenn der Blick von dem nen zum anderen Felde hinübergleitet, das Nachbild desto stärker entickelt ist, je schneller er das andere Feld trifft. Dies zeigt sich sehr deuth bei der Anordnung, welche Chevreul für seine Versuche gewählt hat. r schneidet von jeder der beiden Farben z. B. Gelb und Roth zwei reifen zurecht, legt dann einen gelben und einen rothen Streifen dicht eben einander. Diese wollen wir bezeichnen mit G_1 und R_1. Dann legt neben den gelben Streifen G_1 in kurzem Abstande einen zweiten gelben $_2$ und ebenso neben den rothen R_1 einen zweiten R_2. Die Contrastirkung macht sich dann nur an den beiden mittleren Streifen G_1 und R_1 erklich. Das Gelb von G_1 wird grünlich, indem es sich dem zu R_1 comementären Blaugrün nähert, und R_1 erscheint purpurn, indem sich etwas digblau, die Complementärfarbe von G_1, zumischt. Dagegen erscheinen e beiden seitlichen Streifen G_2 und R_2 in unveränderter Färbung, und an hat dadurch gute Gelegenheit, die Contrastwirkung zu erkennen. Eben von hängt es nun auch ab, dafs, wenn etwas breitere Felder an einander ofsen, die Contrastfärbung namentlich an den Rändern hervortritt. Jedes al, wo der Blick von dem einen Felde A auf das andere B hinübergleitet, id diejenigen Theile der Netzhaut, welche eben das Feld A verlassen, am eisten durch die Farbe A ermüdet, auf diese fällt nun das Bild der Randeile von B. Weniger ermüdet sind diejenigen Netzhauttheile, welche etwas iher A verlassen haben, und schon weiter in das Feld B hineingerückt id. Diesen erscheint deshalb die inducirte Farbe schwächer. So folgt. fs jedes Mal, wo der Blick zum Felde B übergeht, die Randtheile von B meisten durch den Contrast verändert sind, die weiter vom Rande entnten Theile im Verhältniss ihrer Entfernung weniger. Stöfst also z. B. grünes und ein blaues Feld aneinander, so erscheint der Rand des Grün vas gelblicher als die Mitte, der Rand des Blau etwas violetter als seine itte, weil dort das dem Blau complementäre Gelb sich zumischt, hier das n Grün complementäre Purpurroth. Man kann das Spiel der Nachbilder Rande solcher Flächen sehr gut beobachten, wenn man sich eine Reihe Fixationspunkten bezeichnet, und den Blick nur springend bewegt, inn man ihn eine kurze Zeit auf jedem Fixationspunkte festhält. Dann it man deutlich die wohlbegrenzten Nachbilder sich auf das andere Feld überschieben. Die älteren, weiter vorgeschobenen sind blasser, die esten, welche dem Rande am nächsten bleiben, sind stärker.

Handelt es sich nicht um Unterschiede der Farbe, sondern der Helligt, so findet man, dafs die Helligkeit des reagirenden Feldes neben einem eren inducirenden vermindert erscheint, neben einem dunkleren dagegen gröfsert.

Übrigens wird bei diesen Versuchen das Hervortreten der Complement farbe noch durch andere Umstände begünstigt, gegenüber den Method negative Nachbilder zu sehen, welche im vorigen Paragraphen beschriel sind. Während nämlich im Allgemeinen nöthig ist, ein farbiges Object sichtlich mehrere Secunden zu fixiren, um ein deutliches Nachbild von eini Dauer nachher auf einem gleichmäfsig gefärbten Grunde zu erhalten, so ze es sich bei den Versuchen über Contrast, dafs nur eine ziemlich flücht
392 Betrachtung der einen Farbe genügt, um die complementäre Farbe auf d anderen Felde zu induciren, und dafs diese complementäre Farbe nach viel dauernder ist, als es ein unter gleichen Umständen gewonnenes Na bild sein würde. Um auf einem gleichmäfsig gefärbten Grunde ein Na bild zu erkennen, mufs dieses gut entwickelt und gut begrenzt sein. Es wegt sich mit dem Blicke hin und her, giebt sich dadurch gleich als e subjective Erscheinung zu erkennen, und wir sind für gewöhnlich daran wöhnt, unsere Aufmerksamkeit nur den objectiven Gesichtserscheinungen zuwenden. Wenn dagegen ein verwaschenes Nachbild ein kleineres gefärl Feld bedeckt, welches seine objective Begrenzung hat, und immer unter (Einflufs des Nachbildes erscheint, so kann dieser Einflufs nicht unmittel in der Anschauung von den übrigen objectiven Erscheinungen des sichtsfeldes getrennt werden, und wird deshalb viel leichter ein Geg stand unserer Aufmerksamkeit. Im dritten Abschnitte werden wir die erwähnte Eigenthümlichkeit unserer Aufmerksamkeit näher zu besprec haben.

Dazu kommt, dafs die Ermüdung der Netzhaut bei den hier betrachte Contrasterscheinungen immer wieder erneuert wird, und die Wirkung desl anhaltend ist, während sie bei den meisten Methoden Nachbilder zu erzeu ziemlich schnell vergeht.

Wir wenden uns nun zu den Erscheinungen des reinen simulta Contrastes. Um diese als solche sicher erkennen zu können, mufs bei Anordnung der Versuche dafür gesorgt werden, dafs keine Nachbilder stehen können, dafs der Theil der Netzhaut, welcher die inducirte Farbe pfinden soll, vorher auch nicht vorübergehend von dem Bilde des induci den Feldes getroffen wird. Vollständig kann dies in der Regel nur erre werden, wenn man die inducirende Farbe erst sichtbar macht, nachdem das Auge auf einen bestimmten Punkt des inducirten Feldes festgeheftet Diesen Punkt mufs es dann auch während der ganzen Dauer des Vers festhalten. Ist die inducirende Farbe nicht zu lichtstark oder zu gesät so genügt es auch, die Augen, welche auf dunkeln wenig gefärbten Ge ständen herumgewandert sind, oder geschlossen waren, schnell auf das ducirte Feld zu richten, und dann einen Punkt von diesem festzuha ohne vorher den Blick auf dem inducirenden verweilen zu lassen. I letztere Methode genügt namentlich deshalb in den meisten Fällen, weil hierher gehörigen Contrasterscheinungen sich gerade bei schwachen Far unterschieden des inducirenden und inducirten Feldes am deutlich

ꞏigen, während umgekehrt die Erscheinungen des successiven Contrastes
urch starke Gegensätze der Farbe und Beleuchtung begünstigt werden.

Übrigens ist zu bemerken, dafs bei sehr dauernder starrer Fixirung n
uch auf sehr schwach gefärbten Feldern sich Nachbilder entwickeln, wie ich
hon auf S. 511 beschrieben habe, welche den Gegensatz der Farben gänz-
ch auslöschen und damit auch den Contrast, übrigens bei gelegentlicher
endung des Blicks deutlich sichtbar werden, so dafs man bei den Ver-
ichen über simultanen Contrast überhaupt nur kurze Beobachtungszeit an-
enden darf.[1]

Die hierher gehörigen Erscheinungen scheinen mir von ganz anderer 392
t zu sein, als die bisher betrachteten. Sie lassen sich im Allgemeinen
arakterisiren als Fälle, in denen eine genaue Beurtheilung der reagirenden
rbe durch Vergleichung mit anderen als der inducirenden nicht möglich
. In solchen Fällen sind wir geneigt, diejenigen Unterschiede,
elche in der Anschauung deutlich und sicher wahrzunehmen
nd, für gröfser zu halten als solche, welche entweder in der
nschauung nur unsicher heraustreten, oder mit Hülfe der Er-
nerung beurtheilt werden müssen. Es ist dies wohl ein allgemeines
esetz bei allen unseren Wahrnehmungen. Ein Mensch mittlerer Gröfse 393
ben einem sehr grofsen sieht klein aus, weil wir im Augenblick deutlich
hen, dafs es gröfsere Menschen giebt, aber nicht, dafs es auch kleinere
enschen giebt. Derselbe Mensch mittlerer Gröfse, neben einen kleinen ge-
llt, wird grofs aussehen.

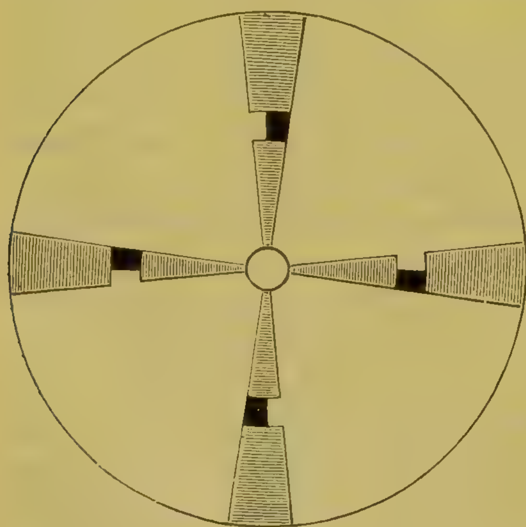
In der Lehre von den Wahrnehmungen werden wir noch vielen Fällen n
nlicher Art begegnen.

Die Bedingungen, welche erfüllt werden müssen, um eine sehr genaue
ahrnehmung der Farbenunterschiede und Helligkeitsunterschiede zwischen
ei verschiedenen an einander stofsenden Flächenstücken des Gesichtsfeldes
erreichen, sind § 16 bei den Methoden der Photometrie erörtert worden.
geschieht dies, wie wir gesehen haben, am sichersten, wenn beide im Ge-
htsfelde ganz dicht an einander stofsen, und ihre Grenze durch nichts
iter als ihren Farbenunterschied bezeichnet ist. Selbst der feinste, eben
h sichtbare Schattenstrich zwischen ihnen macht die Vergleichung un-
erer. Um so gröfser wächst die Unsicherheit, wenn breitere Felder mit
sen Unterschieden der Beleuchtung sich zwischen die zu vergleichenden
schieben, und am aller unsichersten wird die Vergleichung, wenn ein
enwärtiger Eindruck mit dem Gedächtnifsbilde eines früheren verglichen
den mufs. Und eben die leicht beobachtbare und zweifellos constatirte
tsache, dafs die besprochenen Bedingungen für die möglichst genaue Aus-
rung einer photometrischen Messung eingehalten werden müssen, zeigt doch
tlich an, dafs, wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind, die Vergleichung

[1] Ich gebe zu, dafs einige meiner früheren Versuche durch diesen Umstand beeinflufst sein können,
lasse deshalb einige Versuche der früheren Auflage fort, die nicht in hinreichend kurzer Zeit aus-
hrt werden können.

einer Farbe oder Helligkeit mit einer anderen, beziehlich mit dem, was wir als das Muster derselben betrachten, an das sich ihr Namen nach gewöhnlichem Sprachgebrauch heftet, nothwendig mit einem gröfseren oder geringeren Grade von Unsicherheit behaftet ist, und dafs wir uns nicht wundern dürfen, wenn wir in solchen Fällen Irrthümer in der Abschätzung des betreffenden Farbeneindrucks begehen, die sich als solche erkennen lassen, wenn man die Vergleichung unter besseren Bedingungen ausführt. Diese Unsicherheit aber empfinden wir nicht als solche, sondern jeder gegenwärtige Gesichtseindruck erscheint uns, so lange wir ihn vor uns haben, als ganz bestimmt. Dafs wir also bei unsrer Abschätzung der Gleichheit oder Ungleichheit dieses Farbeneindrucks mit irgend einem bestimmten Muster, was wir im Sinn haben, Irrthümer begehen, ist durchaus nicht verwunderlich. Was einer Erklärung bedarf, ist eigentlich nur der Umstand, dafs diese Irrthümer in der Mehrzahl der Fälle in einem bestimmten Sinne ausfallen und nicht regellos hin- und herschwanken. Die Überschätzung der deutlichen Unterschiede scheint mir hier das meist entscheidende Motiv zu sein. Daneben scheinen aber auch gelegentlich andere Momente, welche aus den Erfahrungen über die Erscheinungsweisen von Körperfarben genommen sind, unsere Schätzung der gesehenen Farben zu beeinflussen.

Einer der Fälle, der von solchen anderen Einflüssen leicht frei gehalten
411 werden kann, läfst sich auf Farbenkreiseln herstellen, wenn man in einer Scheibe wie *Fig. 197* schmale farbige Sectoren auf weifsen Grund setzt, sie aber in mittlerer Entfernung vom Mittelpunkte durch einen aus Schwarz und Weifs zusammengesetzten Streifen unterbricht, so dafs beim Umdrehen eigentlich ein grauer ringförmiger Streifen auf schwach gefärbtem weifslichen Grunde entstehen sollte. In der That sieht dieser Ring aber nicht grau, sondern complementär gefärbt aus, und zwar am intensivsten, wenn er gleiche oder etwas geringere Helligkeit als der Grund hat. Ist die Breite der farbigen Sectoren grofs, und dadurch die Farbe des Grundes zu intensiv, so ist die Complementärfarbe des Ringes schwächer, oder wenigstens zweifelhafter als bei schwacher Färbung des Grundes; ebenso wenn man den grauen Ring mit zwei schmalen schwarzen Kreislinien einfafst, die ihn scharf vom Grunde abgrenzen. Es fehlt in den letzteren Fällen die Contrastfärbung vielleicht nicht ganz, aber sie ist mit einer erheblichen Unsicherheit des Urtheils über die Farbe des inducirten Feldes verbunden, und durch Vergleichung mit einem neben dem Farbenkreisel befindlichen weifsen Felde kann man leicht zu dem Resultate gelangen, dafs das inducirte Feld wirklich weifs sei, während ohne

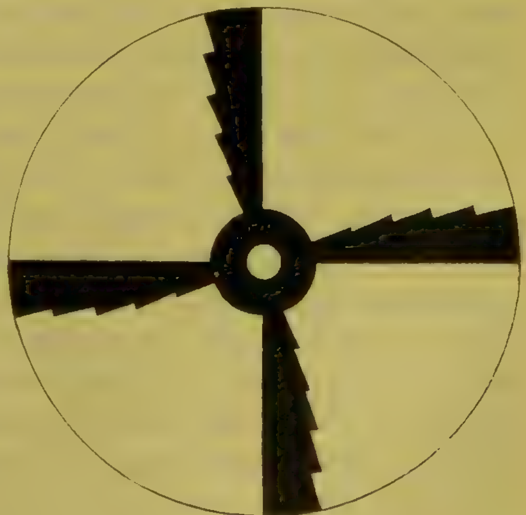

Fig. 197.

e Kreislinien die complementäre Contrastfarbe sich mit zweifelloser Be-immtheit der Wahrnehmung aufdrängt.

Deutlich zeigt sich der Contrast auch, wo die inducirte Fläche an entgegen- 412 ›setzten Seiten mit zwei verschiedenen Farben in Berührung tritt. Dann ird jene an den entsprechenden Rändern complementär gefärbt, oder wenn e inducirte Fläche mit einem Rande an eine dunklere, mit dem anderen ı eine hellere Fläche stöfst, erscheint der erstere Rand heller, der letztere ınkler. Diese Contrasterscheinungen sind aber ebenfalls nur dann deutlich, enn das inducirende vom inducirten Felde eben nur durch den Unterschied ·r Farbe oder der Helligkeit geschieden ist, und keine andere Begrenzung istirt.

Man kann solche Versuche leicht unter einer transparenten Papierdecke aus-hren. Man klebe ein Blatt grünen und rosenrothen Papiers zusammen, so ıfs man ein Blatt erhält, welches zur Hälfte grün, zur Hälfte rosenroth ist. n Orte der Grenzlinie zwischen beiden Farben befestige man ein Streifchen auen Papiers, und lege über das ganze ein ebenso grofses Blatt dünnen iefpapiers. Es wird nun der graue Streifen, wo er an das Grün stöfst, senroth, und wo er an Roth stöfst, grün erscheinen, in seiner Mitte gehen e beiden Farben in einander über durch einen unbestimmten Farbenton, ı wohl eigentlich Grau ist, aber doch nicht bestimmt von uns als solches erkannt werden könnte. Die Erscheinung ist viel lebhafter, wenn die 413 ingsrichtung des grauen Streifen quer zur Trennungslinie der Farben steht. ınn kann der Theil des Grau, welcher in das Grün hineinragt, ebenso leb-ft rosenroth erscheinen, wie der rosenrothe Grund der anderen Seite. hwächer, aber doch deutlich erkennbar ist die Contrastfarbe, wenn die ttlere Längslinie des grauen Streifen gerade auf der Trennungslinie der ırben liegt. Dann erscheinen die Seitenränder des Grau mit einem schmalen ch der Mitte hin verwaschenen Saume der Complementärfarbe gefärbt.

Ähnliche Wirkungen erhält man, wenn man dünne Papierblätter treppen-rmig über einander legt, so dafs an dem einen Rande der Papierschicht ır ein Blatt hervorsieht, daran ein Streifen ›fst, wo sich zwei decken, dann drei u. s. w. ıfst man Licht durch eine solche Lage von ättern scheinen, so ist natürlich inner-lb jeder Stufe die objective Helligkeit nstant, doch erscheint jede Stufe dunkler dem Rande, wo sie an die nächst hellere stöfst, und heller, wo sie an die nächst nklere stöfst.


Fig. 198.

Viel schöner und feiner abgestuft lassen h aber alle diese Erscheinungen auf dem rbenkreisel hervorbringen. Man gebe den ctoren des Farbenkreisels die neben-hende Form der *Fig. 198*, und mache sie

weifs und schwarz, so erscheinen beim Umdrehen mehrere concentrische Ringe, v(denen die äufseren immer heller sind, als die nächstliegenden inneren. Inne halb eines jeden solchen Ringes ist die Winkelbreite der schwarzen Fläche stücke constant, also auch die Helligkeit bei schnellem Umdrehen; nur v(einem zum anderen Ringe wechselt die Helligkeit. Und doch erscheint j(der Ring nach innen zu, wo sich der nächst dunklere anschliefst, heller, nac aufsen zu, wo sich der nächst hellere anschliefst, dunkler. Sind die Hellig keitsunterschiede der Ringe sehr klein, so sieht man zuweilen kaum, da die inneren Ringe dunkler als die äufseren sind, es fällt vielmehr nur d(periodische Wechsel von Hell zu Dunkel an den Rändern der Ringe in di Augen.

Nimmt man statt Weifs und Schwarz verschiedene Farben, so erschei jeder Ring am äufseren und inneren Rande verschieden gefärbt, währen doch objectiv die Farbe jedes einzelnen Ringes in seiner ganzen Breit dieselbe ist. Jede einzelne von den gemischten Farben tritt an den jenigen Rande jedes Ringes stärker hervor, wo ein anderer Ring anstöfs der weniger von dieser Farbe enthält. Hat man also z. B. Blau und Gel gemischt, und überwiegt das Blau in den äufseren Ringen, Gelb in de inneren, so erscheint jeder Ring am äufseren Rande gelb, am innere blau, und wenn die Farbenunterschiede der einzelnen Ringe überhaup sehr gering sind, kann auch hier wieder die Täuschung eintreten, dal die wirklich vorhandenen Unterschiede der Farbe der verschiedenen Ring verschwinden, und die abwechselnd blaue und gelbe Contrastfärbung de Ränder auf einen gleichmäfsig gefärbten Grund aufgetragen zu sein scheint
414 Sehr bezeichnend ist es auch, dafs in diesen Fällen gewöhnlich die Misch farbe nicht zur Anschauung kommt, man vielmehr die beiden gemischte Farben getrennt und neben oder durch einander zu sehen glaubt.

Diese so auffallenden Contrastwirkungen verschwinden aber, wenn ma die Grenze zwischen je zwei Ringen durch feine schwarze Kreislinien be zeichnet. Dann erscheint jeder Ring, wie er wirklich ist, in seiner ganze Breite gleich hell und gleich gefärbt. Auch hier ist es wieder von entscheiden dem Einflusse, dafs die verschiedenen Felder Theile einer, von der Färbung abgesehen, durchaus continuirlichen und gleichartigen Fläche seien. Auc hier haben wir es also nicht mit Veränderungen der Empfindung, sonder der Abschätzung zu thun. Die Beleuchtungsunterschiede der verschiedene Theile dieser Fläche werden als die einzigen wahrnehmbaren Unterschiede wieder besonders hervorgehoben, und da diejenigen zweier unmittelbar be- nachbarter Flächenelemente deutlicher und sicherer wahrnehmbar sind, als die von entfernteren, so drängen sich namentlich die Unterschiede der Be- leuchtung längs der Ränder je zweier Felder der Wahrnehmung auf, und er- scheinen als die am sichersten und deutlichsten wahrnehmbaren gröfser als die unsicher wahrnehmbaren zwischen je zwei mittleren Theilen zweier Felder. Da in der Mitte jedes Feldes bei den beschriebenen Versuchen kein plötz- licher Sprung der Beleuchtung existirt, welcher wahrgenommen werden

önnte, so mufs der Schein entstehen, dafs die Farbe des einen Randes durch ie Mitte des Feldes allmählich in die des anderen übergeht. Macht man aber i der Mitte des inducirten Feldes einen schwarzen Strich, oder legt man n graues Feld, dessen Hälften ungleich hell und durch eine scharfe Grenz- nie getrennt sind, zwischen zwei farbige, so gehen die complementären ärbungen von jeder Seite her bis an diese Grenzlinie vor, und scheiden ch an dieser. Sind die Farbenunterschiede des inducirten und der induci- nden Felder so grofs, dafs zwischen allen Punkten derselben der Farben- nterschied zweifellos wahrnehmbar ist, so verschwindet die Contrastwirkung, ler wird wenigstens viel zweifelhafter. Findet noch irgend eine andere Ab- enzung des inducirten Feldes statt, so wird der Unterschied seiner Färbung n der des inducirenden viel unsicherer wahrgenommen, und der Contrast hwindet ebenfalls, oder wird schwächer.

Aufserordentlich schlagend zeigt sich die Wirkung schwacher Unterschiede 398
i einem zuerst von H. Meyer[1] angegebenen Verfahren. Man schneide n Blatt aus feinem weifsen Briefpapier und eines aus farbigem Papier, B. grünem, beide genau gleich grofs, lege beide auf einander, so dafs sie h genau decken, und schiebe ein Schnitzelchen grauen Papiers dazwischen, lches ebenso dunkel oder dunkler als das grüne ist. Weniger gut ist hwarzes oder weifses Papier. Durch das weifse Papier schimmert das ün und Grau der Unterlage nur ganz schwach durch, und wo das letztere gt, erscheint jetzt ein sehr deutliches und starkes Rosaroth. Giebt man r Unterlage eine andere Färbung, so erscheint das graue Schnitzelchen mer in der Complementärfarbe durch das aufgelegte weifse scheinend. Es lingt häufig die Verhältnisse so zu treffen, dafs die complementäre Con- stfarbe deutlicher hervortritt als die schwache Farbe des Grundes.

Der Einflufs schwächster Grenzlinien ist bei diesen Versuchen sehr auf- *n*
lig. Man nehme ein durchscheinendes weifses Papierblatt, und lege es ein undurchsichtiges weifses. Oben auf lege man ein Schnitzelchen von lgrauem Papier, was man durch einen leichten Anflug chinesischer Tusche so it gefärbt hat, dafs es, wenn es auf dem obersten dünnen weifsen Papierblatt gt, oder auch dort angeklebt ist, ebenso dunkel erscheint, als ein dunkleres nitzelchen, was unter dem durchscheinenden Papier liegt. Alsdann me man das undurchsichtige Weifs fort und lege dafür ein farbiges tt ein. Dann sieht man von oben die beiden grauen Schnitzel in nahehin icher Helligkeit des objectiven Grau. Der optische Unterschied besteht nur in, dafs das oben liegende durch seine zarten Grenzlinien, die man n noch erkennt, vom Grunde getrennt ist, während die Grenzlinie des leren Schnitzel mehr als ein verwaschener Fleck von etwas anderer Farbe der Grund des deckenden Papiers erscheint. Unter diesen Umständen nmt die complementäre Contrastfarbe auf dem letzteren, bedeckten nitzel sehr deutlich zum Vorschein, während sie auf dem oben liegenden

[1] H. Meyer, *Pogg. Ann.* XCV. 170. 1855.

kaum oder gar nicht zu erkennen ist. Diese Form des Versuchs ist be sonders bequem, weil man schwache Färbungen durch Nachbilder nicht seh ängstlich zu vermeiden braucht, da beide gleichfarbige Flecke durch solch wenn sie sich entwickeln sollten, nahehin gleichmäfsig verändert werde während der Unterschied, der von der Deutlichkeit der Grenzen abhängt, be stehen bleibt.

Bringt man die beiden grauen Flecke einander sehr nahe, so wird di Contrastwirkung viel schwächer, dann stört offenbar die Gleichheit der be den Grau, welche man um so sicherer erkennt, je näher sich die beide Flächen liegen.

Auch kann man den Contrast sehr schwächen, wenn man zwei gleichge färbte graue Schnitzel zwischen das farbige Papier und das dünne weifs Blatt legt und auf dem deckenden dünnen Papier einen feinen Strich mi Tinte macht, der der Umrifslinie des einen grauen Feldes folgt. Auch dan zeigt das nicht abgegrenzte graue Feld die Contrastfarbe viel deutlicher als das abgegrenzte.

Besonders deutlich tritt die Contrastfarbe auch hervor, wenn man da *Nachbild* eines weifsen oder grauen kleinen Feldes, was von farbigem Grund umgeben ist, auf einen gleichmäfsig weifsen oder grauen Grund wirft. Da Nachbild des weifsen Feldes würde bei Vermeidung allzu starken Licht kaum gefärbt sein, wenn der umgebende Grund vorher schwarz oder dunkel grau gewesen wäre. War aber, wie bei dem beschriebenen Versuche, de Grund gefärbt, so erscheint das Nachbild des kleinen weifsen Feldes jetz gleichfarbig dem früher gesehenen Grunde, während die Umgebung die Farb seines complementären Nachbildes zeigt. Diese ruft offenbar durch Contras wieder ihre Complementärfarbe, d. h. die ursprüngliche Farbe des Grunde in dem weifsen kleinen Felde hervor.

Die Bedingungen sind hier besonders günstig für eine ruhige Be obachtung des Contrastes; denn die Grenzen des kleinen grauen Nachbilde sind immer ein wenig verwaschen, ohne scharfe Umrifslinie, und aufserden stört das Schwanken der Gesichtslinie die Erscheinung gar nicht, weil da Nachbild durchaus fest auf der Netzhaut liegen bleibt.

Der Farbenunterschied zwischen den ursprünglich gesehenen beide Feldern kann sehr schwach sein; die Erscheinung wird dadurch kaum wenige deutlich. Man erreicht dies z. B., indem man den stark gefärbten Grun mit durchscheinendem weifsen Papier überdeckt und vor diesem das weifs Feld anbringt, welches das weifse Nachbild geben soll.

Contrast bei starken Farbenunterschieden. Ein kleines weifse Feld etwa ein mit einer Pincette gehaltenes Papierschnitzelchen, hinter welchen ein gleich hell beleuchteter Bogen weifsen Papiers weggezogen wird, so daf an Stelle des letzteren ein ausgedehnter lebhaft gefärbter Grund erscheint zeigt mir im ersten Moment die Complementärfarbe, aber nur undeutlich un sehr flüchtig. Gleich darauf tritt aber auch die dem Grunde gleichnamig Farbe in schwachen Andeutungen auf dem kleinen Felde auf, oft fleckweise

ertheilt zwischen Stellen, die die Complementärfarbe zeigen. So ist es enigstens jetzt in meinem 70. Lebensjahre. Die von mir in der ersten uflage gegebene Beschreibung dieser Erscheinung macht mich glauben, dafs h damals die Complementärfarbe deutlicher und sicherer gesehen habe. h mufs dahingestellt sein lassen, ob meine Augenmedien vielleicht trüber eworden sind, so dafs sie mir mehr objectives Licht von der Farbe des rundes über das kleine weifse Feld ausbreiten, und dadurch der Contrast estört wird.

Das reagirende Weifs darf im Allgemeinen nicht zu hell genommen wer- 396
en. Wenn man den Versuch in einem Zimmer anstellt, wo von einer Lampe ler von einer nicht zu grofsen Fensteröffnung her das Licht einfällt, kann an die Helligkeit des weifsen Papiers leicht dadurch verändern, dafs man as Licht mehr oder weniger senkrecht auffallen läfst, und so die passende elligkeit auffinden. Eine mittlere Helligkeit des Weifs, welche ungefähr en so grofs ist, wie die des farbigen Grundes, ist am vortheilhaftesten. t das Weifs zu hell, oder andererseits zu stark beschattet, so dafs es sich m Schwarz nähert, so sind die Contrastfarben minder deutlich oder fehlen nz. Je mehr die farbige Fläche vom Gesichtsfelde einnimmt, desto heller nn das Weifs gemacht werden. Wenn man sich mit dem Auge von den bjecten entfernt, und deren scheinbare Gröfse also kleiner wird, so wird e inducirte Farbe schwächer oder schwindet ganz. Ebenso schwindet sie i anhaltendem Fixiren, und verwandelt sich in die der inducirenden Farbe eiche, auch desto leichter, je kleiner die scheinbare Gröfse des inducirten eldes ist, je stärker dieses beleuchtet ist, und je dunkler das inducirte Feld . Läfst man das letztere aus einem schwarzen Scheibchen bestehen, und ingt dieses vor eine farbige Glasplatte, welche in einer Oeffnung des Fenster-len befestigt ist, so dafs man die lichte Himmelsfläche hindurchsieht, so häufig von Anfang an die schwarze Scheibe mit der Farbe des Glases erzogen, vorausgesetzt, dafs man Nachbilder vermeidet. Ich finde hierbei inen Unterschied der verschiedenen Farben als den, dafs die käuflichen hen Gläser dunkler zu sein pflegen als die gelben, grünen und blauen, d daher für das Roth eine gröfsere Lichtstärke, z. B. die von sonnenhellen olken nöthig ist, um die gleiche Farbe von Anfang an zu erzeugen. Bei n blauen Gläsern, welche auch bei ziemlich dunkler Färbung die Er-eimung zeigen, könnte wohl auch die Fluorescenz der Linse und Hornhaut zu beitragen, blaues Licht über die dunkle Scheibe zu verbreiten. Nach rzem Fixiren tritt immer die gleiche Farbe ein, und nur am Rande des warzen Feldes zeigt sich der von Schwankungen der Gesichtslinie her-rende complementäre Saum.

Wenn wir zunächst von den Fällen absehen, wo die inducirte Farbe der ucirenden gleich ist, so können wir das Hauptresultat der beschriebenen rsuche auch so ausdrücken: „Wenn im Gesichtsfelde eine besondere rbe überwiegend verbreitet ist, so erscheint uns eine weifslichere Abstufung sselben Farbentons als Weifs, und wirkliches Weifs als complementär ge-

färbt.“ Es wird also die Norm dessen, was wir Weifs nennen, dabei ändert. Nun ist die Empfindung des Weifs keine einfache Empfindung, dern in einem bestimmten Verhältnisse zusammengesetzt aus den Empfindun
397 der drei Grundfarben. Um nun in einem bestimmten Falle eine gegeb Farbe als Weifs anzuerkennen, wenn uns die Möglichkeit fehlt, sie mit derem Weifs zu vergleichen, welches als solches anerkannt ist, müssen das Intensitätsverhältnifs der drei darin enthaltenen Grundfarben als ver dert oder unverändert wieder erkennen. Die Vergleichung der Intensi verschiedener Farbenempfindungen ist aber, wie wir in § 21 gesehen hab eine höchst unsichere und ungenaue. Es kann also auch die darauf beruhen Bestimmung des Weifs keine sehr genaue sein, sondern es werden zieml bedeutende Schwankungen in dem, was wir zu verschiedenen Zeiten für We halten, möglich sein, wie wir es denn auch wirklich finden.

In dieser Erklärung liegt auch zugleich der Grund, warum die Schwa kungen der Vorstellung des Weifs nicht so weit gehen, dafs wir eine gesätti Farbe, z. B. das Roth der mit Kupferoxydul gefärbten Gläser, welche Licht vom rothen Ende des Spectrum hindurchlassen, jemals für Weifs hal sollten, selbst wenn wir uns längere Zeit in einem Raume befinden, welcher s Licht nur durch ein solches Glas empfängt. In der That sind wir nicht im Zweif wenn wir sehr lichtstarkes Roth mit lichtschwachem Blau vergleichen, welc Farbe die hellere sei. Über grofse Unterschiede entscheiden wir sicl auch aus der Erinnerung, nicht aber über kleine. Wenn also dem Au homogenes Licht dargeboten wird, und die Empfindung der rothen Grundfar daher sehr intensiv ist, im Vergleich zu den Empfindungen der beiden ander Grundfarben, so erkennen wir ohne Bedenken die Farbe als Roth an. W thun dies auch noch, wenn die Empfindung des Roth durch Ermüdung d Auges schon sehr bedeutend abgeschwächt ist. Wohl aber können wir unt solchen Umständen ein etwas weifsliches, aber noch immer ziemlich gesättigt Roth für Weifs halten, wie in dem oben beschriebenen Versuche, wo e mennigrothes Papier vor einem stark erleuchteten rothen Glase grünli erscheint.

Noch auf einen anderen Umstand mufs ich aufmerksam machen, der einem solchen Falle vor allzu grofsen Irrthümern schützt. Es ist dies d Eigenlicht der Netzhaut, welches nach einiger Zeit bei wanderndem Blicl complementär zur herrschenden Farbe erscheint, und sich auf allen ga dunkeln Stellen des Gesichtsfeldes merklich macht. Wenn wir anhalte durch ein rothes Glas sehen, erscheinen bald alle ganz dunkeln Objecte le haft grün. Neben dem Roth wird also seine Complementärfarbe sichtba und wir werden dadurch gezwungen, das Roth als Roth anzuerkennen, w können es nicht mit Weifs verwechseln. Bei herrschender weifser Beleucl tung erscheint der Nebel auf den dunkeln Stellen weifs, und wird eben de halb nur bei genauer Aufmerksamkeit bemerkt. Selbst bei schwächer ge färbtem Licht, z. B. bei einer Lampe oder Kerze, macht sich das Eigenlicl der Netzhaut in dieser Weise bemerklich. Man braucht nur vor eine weifs

on der Kerze beleuchtete Papierfläche einen schmalen schwarzen, ganz un- eleuchteten Gegenstand zu halten, und den Blick über ihn und die Papier- äche wandern zu lassen, so erkennt man bald den indigblauen Schein auf em Schwarz, welcher dem Rothgelb des Kerzenlichts complementär ist. Veifses Papier bei Kerzenbeleuchtung erscheint ebenso gut weifs, wie bei agesliclit. Blickt man aber durch eine innen geschwärzte Röhre, welche 398 ur eine kleine Öffnung hat, nach dem Papier, und vergleicht das Aussehen es kleinen Theils der Papierfläche, den man noch sieht, mit dem dunkeln elde, so erkennt man bald, dafs jenes rothgelb ist, letzteres bläulich er- heint, während bei Tageslicht sich kaum ein solcher Unterschied zeigt. ies ist ein Mittel, um die Farbe der herrschenden Beleuchtung zu erkennen, lbst wenn man kein Tageslicht zur Vergleichung herbeischaffen kann.

Eine genaue Bestimmung des Weifs, bei verbreiteter farbiger Beleuch- ing kann aus der Vergleichung mit dem Eigenlichte des Auges natürlich cht hervorgehen, weil das letztere zu schwach und nicht rein weifs ist.

Wenn wir also eine beschränkte Anzahl farbiger Objecte im Gesichts- lde haben, so sind wir viel besser im Stande, die relativen Unterschiede r vorhandenen Farben unter einander und von ihrem Mittel zu bestimmen, s den Unterschied dieses Mittel vom Weifs. Nun ist bei der normalen eleuchtung durch Tageslicht, und wenn wir eine grofse Mannigfaltigkeit von ojecten frei vergleichen können, das Weifs des Sonnenlichts die Mittel- rbe, von der aus wir die Abweichungen der übrigen Farben nach den ver- hiedenen Richtungen der Farbentafel hin beurtheilen. Ist aber eine andere rbe *A* herrschend, so dafs das Mittel aller gleichzeitig angeschauten rben sich der Farbe *A* nähert, so sind wir geneigt, dieses Mittel als den isgangspunkt unserer zeitweiligen Farbenbestimmungen zu benutzen, und mit Weifs zu identificiren.

Ein weiterer sehr günstiger Fall für die Erscheinungen des simultanen *n* ntrastes sind die farbigen Schatten. Diese haben unter allen Contrast- cheinungen zuerst und am meisten die Aufmerksamkeit auf sich gezogen. e leichteste Art, sie zu beobachten, ist die, dafs man ein Blatt Papier 393 n entgegengesetzten Seiten her gleichzeitig mit abgeschwächtem Tageslicht d mit Kerzenlicht beleuchtet. Das Tageslicht, d. h. weifses Licht, welches n bewölkten Himmel, oder von einer von der Sonne beschienenen weifsen iche, oder auch vom Monde kommt, lasse man durch eine nicht zu breite 394 nung einfallen, damit es deutliche Schatten werfen könne. Dann stelle n auf das Papier irgend einen Körper (Finger, Bleistift), welcher Schatten ft. Man wird zwei Schatten erkennen. Ich nenne Schatten des Tages- hts denjenigen, welcher auch, wenn die Kerze fehlte, da sein würde, und hatten des Kerzenlichts denjenigen, dessen Dasein von der Anwesen- t der Kerze abhängt. Der Schatten des Tageslichts ist beleuchtet von hgelbem Kerzenlicht, aber nicht von Tageslicht. Er erscheint in seiner ectiven Färbung, nämlich rothgelb. Der Schatten des Kerzenlichts wird dem weifsen Tageslichte, nicht aber von dem rothgelben Kerzenlichte

beleuchtet. Er ist also objectiv weifs, erscheint aber blau, compleme zur Farbe des Grundes, welche ein weifsliches Rothgelb ist, da die nicht schatteten Theile des Papiers gleichzeitig von dem weifsen Tageslichte dem rothgelben Kerzenlichte beschienen sind. Die Färbungen sind am d lichsten, wenn man die Stärke beider Lichtquellen so abgleicht, dafs Schatten beider gleich dunkel sind.

Das Blau im Schatten des Kerzenlichts wird lebhafter, wenn man Blick häufig über den rothgelben Grund wandern läfst, aber es entsteht a ganz ohne Vermittelung von Nachbildern. Man merke und bezeichne irgend einen Punkt a, der in dem blauen Schatten liegt, setze vor die Ke einen undurchsichtigen Schirm, lasse eine Weile nur Tageslicht auf das Pa fallen, bis die Nachwirkung des rothgelben Lichts vollständig erloschen und das Tageslicht wieder vollkommen weifs erscheint. Nun fixire man Punkt a und ziehe den Schirm vor der Kerze weg. Sogleich färbt sich der Schatten des Kerzenlichts blau, und bleibt blau, wenn auch nicht kleinste Schwankung des Blicks erfolgt ist. Ferner tritt auch die Contr farbe im Schatten sogleich auf, wenn man die Augen eine Weile schli und bedeckt, und sie dann plötzlich öffnend nach den Schatten hinwendet

Man nehme eine innen geschwärzte Röhre, und gebe ihr eine sol Stellung, dafs, wenn man hindurchsieht, das Auge nur Stellen des Papi erblickt, welche im Schatten des Kerzenlichts liegen. Läfst man nun zue nur Tageslicht einfallen, blickt dann durch die Röhre, und läfst alsdann a das Kerzenlicht einfallen, so sieht der Beobachter nichts von den mit Kerz licht beleuchteten Stellen, er bemerkt dessen Anwesenheit gar nicht, und Aussehen der Stelle des Papiers, welche er durch die Röhre sieht, bleibt verändert. Es folgt daraus, was hier bemerkt werden mag, da es von Osa bezweifelt wurde, dafs objectiv die Farbe des Papiers im Schatten des Kerz lichts nicht verändert wird.

395 Statt der rothgelben natürlichen Farbe des Kerzenlichts kann man n auch andere Farben anwenden. Das Kerzenlicht kann man färben, ind man farbige Gläser vor die Kerze setzt, und so gefärbtes Kerzenlicht e weder mit Tageslicht oder mit ungefärbtem Kerzenlicht combinirt. glänzendsten werden die Erscheinungen aber, wenn man die Versuche in ein dunkeln Zimmer anstellt, und durch eine Öffnung des Ladens, die mit ein farbigen Glase gedeckt ist, gefärbtes Sonnenlicht eintreten läfst, durch e andere kleine Öffnung weifses Tageslicht. In allen diesen Fällen ersche das weifse Licht sowohl bei fixirtem, als auch, und zwar viel stärker, wanderndem Blick complementär zu dem farbigen gefärbt.

Die complementäre Farbe erscheint bei wanderndem Blicke sogar a auf ganz schwarzen Flächen und auf Flächen, die schwach mit der herrsch den Farbe beleuchtet sind. Bei fixirtem Blicke erscheint eine dunkle Fläc bald complementär, bald gleichfarbig. Bei schwächerem Lichte gewöhnli ersteres, bei stärkerem Lichte letzteres, jedenfalls wird sie aber nach einig Dauer der Fixation gleichfarbig dem herrschenden Lichte, während nur

n Rändern bei den unvermeidlichen Schwankungen der Gesichtsaxe hin d wieder die Complementärfarbe aufblitzt. So wie man den Blick wandern st, kommt die Complementärfarbe immer zu Stande, oder wird glänzender, nn sie schwach schon vorher da war.

Die Complementärfarbe kommt sogar dann zum Vorschein, wenn man s Licht durch zwei Gläser von derselben Farbe gehen läfst, wovon aber s eine schwächer gefärbt ist als das andere, oder wenn man zwei gleiche äser anwendet, aber neben dem einen noch weifses Licht einfallen läfst. solchen Fällen wird also der Farbenton des weifslicheren Schatten scheinbar den entgegengesetzten verwandelt.

Ehe wir die Fälle von Contrast verlassen, bei denen die inducirte Farbe 400
n gröfsten Theil des Gesichtsfeldes einnimmt, müssen wir noch den Grund r zuweilen erscheinenden Färbung des reagirenden Feldes, welche der in- cirenden gleichnamig ist, erörtern. Es kommt dies unter zwei Bedingungen : erstens nämlich wenn das inducirende Feld eine sehr grofse Lichtstärke , zweitens bei langem Fixiren desselben Punktes.

Wenn das inducirende Feld eine sehr grofse Lichtstärke hat, halte ich s Auftreten der gleichnamigen Färbung im reagirenden Felde nicht für eine jective Erscheinung, sondern für eine Ausbreitung objectiven Lichts. Jede te und flüssige durchsichtige Substanz, welche wir kennen, zerstreut kleine ngen des Lichts, welches durch sie hindurchgeht, nach allen Seiten hin, l erscheint deshalb, wenn starkes Licht durch sie hingeht, selbst schwach euchtet. Dafs dies auch mit der Hornhaut und der Krystalllinse des Auges Fall ist, haben wir schon oben (§ 14, S. 142) erwähnt. Man denke ferner die entoptischen Objecte des Glaskörpers, welche nothwendig das durch- ende Licht theilweis von seinem Wege ablenken müssen, man denke daran, s Licht von den erleuchteten Stellen der Netzhaut nach den übrigen Theilen s Augengrundes hin reflectirt wird, so ergiebt sich, dafs wenn eine gröfsere nge Licht in das Auge eindringt, immer merkliche Mengen davon über en gröfseren oder kleineren Theil des Augengrundes ausgebreitet sein rden. Am deutlichsten zeigt sich diese Beleuchtung durch diffuses Licht der zweiten in § 15 beschriebenen Methode, die Gefäfse der Retina sicht- zu machen, indem man eine Kerzenflamme unterhalb des Auges hin und bewegt. In dem Lichtnebel, welcher hierbei den Grund des Auges aus- t, erscheinen die Schatten der Netzhautgefäfse; die Beleuchtung ist also enfalls eine objective, und nicht blos eine Ausbreitung der Lichtempfindung der Netzhaut.

Nun kann man sich bei objectiven Versuchen mit Glaslinsen leicht über- gen, dafs das diffus zerstreute Licht immer am stärksten in der Nähe des elmäfsig gebrochenen Lichtbündels ist, und schwächer wird, je weiter man von diesem entfernt. Läfst man Sonnenlicht durch die Öffnung eines warzen Schirms auf eine entfernte Linse fallen, und fängt das Bild der len Öffnung auf einem weifsen Schirme auf, so sieht man das helle Bildchen einem weifsen Nebelschein umgeben, der auch sichtbar wird, wenn man

das Bild der hellen Öffnung selbst dicht am Rande des Schirms vorbeigel läfst. Jener weifse Nebelschein ist also keine im Auge entstehende I diation, sondern eine objective Erscheinung. Noch besser sieht man es, w man in den Schirm eine kleine Öffnung macht, die man dem Bilde der hel
401 Öffnung nahe bringt, ohne sie aber damit zusammenfallen zu lassen. Bli man durch die Öffnung des Schirmes nach der Linse, so erscheint di desto heller erleuchtet, je näher man dem optischen Bilde der Lichtqu kommt. Ein ganz entsprechendes Phänomen entsteht im Auge. Wenn n eine Lichtflamme vor einem sehr dunkeln Felde sieht, z. B. vor der öffneten Thür eines ganz dunkeln Raumes, so erscheint die Flamme v einem weifslichen Nebel umgeben, der in ihrer unmittelbaren Nähe am h sten ist. Man bemerkt diesen Lichtschein am besten, wenn man einen klei undurchsichtigen Körper zwischen das Auge und die Flamme bringt, so d diese nicht mehr gesehen wird. Augenblicklich verschwindet auch der Lic nebel vor dem Grunde, und man sieht diesen in seiner eigenthümlic Schwärze. Ist das Licht farbig, so ist natürlich auch der zerstreute Lic nebel von derselben Farbe. Ich glaube auch in diesem Falle nicht zweif zu dürfen, dafs dieser Lichtnebel von der Zerstreuung objectiven Lichts h rührt, da die Vertheilung des Lichts ganz dieselbe ist, welche ein Syst Glaslinsen unter denselben Umständen geben würde. Aber allerdings fe hier der Nachweis mittels der Schatten der Netzhautgefäfse, der in d erst erwähnten Falle gegeben werden konnte. Beim blauen Lichte kom endlich auch noch das durch Fluorescenz der Linse zerstreute weifsbläulic Licht hinzu, welches sich ebenfalls über den ganzen Grund des Auges a breitet. Wenn also eine grofse Menge farbigen Lichts in das Auge fäl werden immer auch solche Theile der Netzhaut, welche Bilder dunkler O jecte empfangen, von dem herrschenden Lichte schwach beleuchtet werde und zwar desto stärker, je näher sie den Bildern der hellen Flächen lieg Aufserdem besteht im Bereich des dunkeln Bildes die innere Reizung d Nervenmasse, das weifsliche Eigenlicht der Netzhaut. Dieses allein g nommen würde im Contrast zur herrschenden Farbe dieser complementär e scheinen. Kommt aber viel der inducirenden Farbe gleichnamiges zerstreut Licht hinzu, so wird dies von Anfang an den überwiegenden Eindru machen; daher denn, wie oben bemerkt, schwarze Scheibchen vor farbig Gläsern bei geringerer Helligkeit complementär, bei gröfserer gleichfarb erscheinen.

Der zweite Fall, wo die inducirte Farbe der inducirenden gleichartig i bei langer Fixation nämlich, erklärt sich aus dem, was im vorigen Paragraph über das allmähliche Erlöschen der Bilder durch lange Fixation beigebrac worden ist. Es ist schon dort bemerkt worden, dafs wenn eine Stelle d Netzhaut lange Zeit hindurch von demselben Lichteindrucke getroffen wir die Empfindung der Helligkeit immer schwächer und die Farbe immer wenig gesättigt wird. Indessen bemerken wir diese Veränderung des Eindruc nur, wenn wir Vergleichungen mit dem Eindruck, den dasselbe Licht auf u

müdete Netzhautstellen macht, anstellen. Wir halten also dabei das Ur-
eil über die Farbe und Helligkeit fest, welches wir uns beim ersten An-
ck gebildet haben. In der That würden wir, selbst wenn wir den Wechsel
s Eindrucks bei einiger Aufmerksamkeit bemerken, ihn bald als subjective
scheinung erkennen lernen, da er ja in jedem einzelnen Falle immer und
mer wiederkehrt, und würden ihn, wie andere ähnliche subjective Er-
einungen, bald übersehen lernen.

Wenn die fixirte Fläche hellere und dunklere Theile hat, so verlöschen 402
se Unterschiede bei der Abschwächung des Eindrucks allmählich. Man
zeichne sich auf einer solchen Fläche einen Punkt, der als Fixationspunkt
nt; übrigens ist es vortheilhaft, wenn die Grenzen zwischen hellen und
nkeln Theilen verwaschen sind, um bei kleinen Schwankungen des Auges
ht zu stark gezeichnete Nachbilder zu geben. Fixirt man scharf und fest,
verlöschen in 10 bis 20 Secunden oft recht auffallende Lichtunterschiede,
l zwar in der Weise, dafs anfangs die helleren Theile dunkler werden,
l gleichzeitig die dunkleren heller. Auffallend ist dabei auch, dafs eine
fsere dunkle Masse sich häufig in einen verwaschenen dunkeln Fleck ver-
ndelt, oder eine helle Masse in einen verwaschenen hellen Fleck, als
ren die Objecte mit dünnflüssigen Farben gemalt, und diese verliefen in
ander. Übrigens ist in dieser Weise der Versuch schwer auszuführen,
gen der langen starren Fixation, und sehr anstrengend. Jeder Lidschlag,
e kleine Verrückung des Auges stellt das Bild wieder her. Viel bequemer
l vollständiger gelingt er, wenn wir Objecte benutzen, die zur Netzhaut
ost eine feste Lage haben, nämlich die Netzhautgefäfse. Ich habe im
5 die Methoden auseinandergesetzt die Netzhautgefäfse sichtbar zu machen.
Gemeinsame dieser Methoden besteht darin, dafs man den Schatten der
äfse in eine ungewöhnliche Richtung fallen läfst, oder den Kernschatten
verlängern sucht. Dabei ist aber auch nöthig die Richtung des Schatten
fenden Lichts fortdauernd zu verändern, und man sieht nur diejenigen
äfse, deren Schatten den Ort wechselt. So wie man die Lichtquelle un-
rückt läfst, schwinden die Gefäfsstämme im Gesichtsfelde in wenigen
unden, indem sie so hell werden wie das übrige Gesichtsfeld. Sie schwin-
schneller und vollständiger, als es Bilder äufserer Gegenstände thun, bei
en die Schwierigkeit der Fixation besteht; sie schwinden um so schneller,
chwächer die Beleuchtung ist. Am längsten halten sie sich, wenn man
h eine Linse Sonnenlicht auf die äufsere Seite der Sclerotika concentrirt,
hier das Feld am hellsten ist.

Einfache Überlegungen zeigen übrigens leicht, dafs das Verschwinden
Netzhautgefäfse ganz dieselben Ursachen hat, wie das Verschwinden aller
fixirten Bilder, und dafs hierbei keineswegs irgend eine besondere Eigen-
nlichkeit der hinter den Gefäfsen liegenden Netzhauttheile im Spiel ist.
ist nicht zulässig anzunehmen, dafs diese Stellen etwa mit einer gröfseren
gbarkeit begabt seien, als der Rest der Netzhaut, und deshalb trotz der
chattung ebenso starke Empfindung hätten, wie die anderen. Denn wenn

wir den Schatten in ungewöhnlicher Richtung entwerfen, indem wir ein Theil der Sclera durch die Pupille oder von aufsen beleuchten, und z Lichtquelle für den Augengrund machen, so verhalten sich die neu beschattete Theile der Netzhaut genau ebenso, wie die gewöhnlich beschatteten. Au auf jenen schwindet das Bild schnell, wenn es seinen Platz nicht wechse und die gewöhnlich beschatteten Theile geben sich keineswegs durch ei dauernd gröfsere Helligkeit zu erkennen. Vorübergehend blitzen allerding helle Streifen neben dem Schatten auf, sobald der Schatten eine Zeit lar still gestanden hat, und dann wieder sich zu bewegen beginnt. Aber d
403 geschieht bei seitlicher Beleuchtung ebenso gut, wie bei der Beleuchtu von vorn. Es zeigt sich dabei also wohl, dafs die beschatteten Theile de Netzhaut ausruhen, und wenn wieder Licht auf sie fällt, dieses lebhafte empfinden. Aber die Nachwirkung der Ruhe, das negative helle Nachbil des Schattens dauert eben nicht länger als das Nachbild dunkler äufser Objecte. Ich glaube deshalb nicht zweifeln zu dürfen, dafs wir in de schnellen Verschwinden des Gefäfsschattens eben nichts anderes sehen, a in dem Verschwinden jedes starr angeschauten objectiven Bildes mit mäfsige Helligkeitsunterschieden, nur dafs in jenem Falle die Schwierigkeiten de Fixation wegfallen.

Wenn nun dauernd eine Stelle der Netzhaut A stärker beleuchtet wir als eine andere B, so wird allerdings, weil A mehr ermüdet wird als B, de anfängliche Unterschied der Erregung bis zu einem gewissen Grade vermindei werden, und wir sehen ihn dabei allmählich auch für unsere Empfindun ganz und gar verschwinden, sei es nun, dafs er wirklich zu klein wird, u wahrgenommen zu werden, oder, was mir wahrscheinlicher dünkt, weil unse Unterscheidungsvermögen für anhaltende Nervenerregungen viel unvollkommene ist, als für wechselnde Erregung. Da wir nun aber in diesen Fällen unser Beurtheilung der Farbe nach dem ersten Eindruck festhalten, und über di allmähliche Veränderung desselben wegsehen, so scheinen uns bei diesen Versuch die Flächen A und B einander ähnlicher zu werden, während ihr mittlere Helligkeit ungefähr constant erscheint. Im Allgemeinen wird di hellere A dabei dunkler, die dunklere B aber heller. Eine silbergrau Tapete zum Beispiel mit dunkler grauen Blättern, an der Kupferstiche hängen erscheint mir bei längerem Fixiren wie mit Milch übergossen.

Sind im Gesichtsfelde verschiedene Farben, so hat deren Eindruck eben-falls nur im ersten Augenblicke volle Lebhaftigkeit. Bei anhaltendem Fixire werden alle Farben immer dunkler und grauer, und daher einander ähnlicher Dafs sie ähnlicher werden, bemerken wir; die Veränderung der herrschende Farbe aber bemerken wir nicht, oder nur ungenau, so lange uns die Ver-gleichung mit frischen Eindrücken fehlt, und so halten wir diese meist fü unverändert.

Haben wir also ein weifses Feld auf rothem Grunde fixirt, und werde die beiden Farben einander immer ähnlicher, so urtheilen wir, dafs das Weifs roth werde. Dazu kommt, dafs bei jedem Schwanken des Blicks an de

enze beider Felder auf dem Weifs ein grünes Nachbild, auf dem Roth s von gesättigtem Roth aufblitzt, und durch den Contrast die Wirkung rstärkt.

Dafs beide Farben sich einander nähern, zeigt sich sehr deutlich, wenn n ein kleines rothes Feld auf breitem weifsen Grunde fixirt. Auch dann rd, wie Fechner bemerkt hat, das Weifs nach einiger Zeit röthlich, und ar gleichmäfsig in seiner ganzen Ausdehnung. Ein zweites kleines biges Feld, welches weit seitlich liegt, hat keinen Einflufs auf den Gang r Erscheinung. Wählt man aber den Fixationspunkt auf der Grenze zweier inen verschiedenfarbigen Felder, die auf weifsem Grunde liegen, so überht sich nach Fechner der Grund mit der Mischfarbe beider. Es zeigt h hierbei also eine besondere Bevorzugung der Farbe, welche der gelbe eck empfindet, was wohl seinen Grund darin hat, dafs diese am schärfsten d sichersten beurtheilt wird, während die Farbenempfindung auf den itentheilen der Netzhaut viel unvollkommener ist.

In den bisher betrachteten Fällen, wo wir voraussetzten, dafs die in- 404
cirende Farbe den gröfsten Theil des Gesichtsfeldes einnimmt, oder wenigns durch ihre Stärke und Lebhaftigkeit die anderen beherrscht, sind die ntrasterscheinungen ziemlich constant und deutlich, und scheinen weiter von nen Nebenbedingungen abzuhängen. Anders ist es, wenn das Feld der ucirenden Farbe kleiner ist, so dafs daneben an der Grenze des Gesichtsdes noch eine hinreichende Anzahl weifser und verschiedener Objecte erheinen können. Dann sind die Contrasterscheinungen durchaus nicht mehr constant, und hängen von manchen merkwürdigen Nebenbedingungen ab, mir für die Theorie dieser Erscheinungen sehr wichtig zu sein heinen. Ist aufserhalb des inducirenden und inducirten Feldes das sichtsfeld dunkel, so stört dies nicht so sehr. Erst wenn das Dunkel en sehr grofsen Theil des Gesichtsfeldes einnimmt, wenn man z. B. durch e schwarze Röhre sieht, scheint das Eigenlicht der Netzhaut eine weifse leuchtung zu vertreten, und die Contrasterscheinungen werden unsicher.

Einflufs der Vorstellung von der körperlichen Lage der ge- n
henen Objecte. Sehr wirksam zeigt folgendes Verfahren von Ragona Scina 405
Contrastfarben auch bei mäfsiger Ausdehnung des farbigen Feldes. Es seien und *a c Fig. 199* zwei weisse Papierflächen, die eine rizontal liegend, die andere senkrecht, und *a d* eine bige Glasplatte, welche gegen die beiden Papierhen um 45° geneigt ist; *e* und *f* seien zwei schwarze ecke. Ein Beobachter, welcher von oben bei *B* her den Apparat herniedersieht, erblickt die Fläche *a b* rch das gefärbte Glas hindurch, und sieht *a c* gespiegelt. Das Spiegelbild der Fläche *a c* fällt scheinbar der Fläche *a b* zusammen, und das Spiegelbild des hwarzen Flecks *f* liege neben dem Flecke *e*, etwa in *g*. n ist das Licht, welches farbige Gläser hindurchlassen,

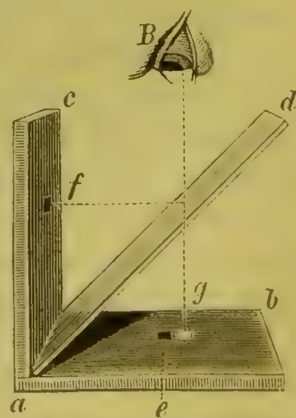


Fig. 199.

gefärbt, das, was sie reflectiren, besteht theils aus rein weifsem Lic welches an der vorderen Fläche reflectirt ist, theils aus verhältnifsmäf kleinen Antheilen farbigen Lichts, welches an der hinteren Fläcl oder mehrmals innerhalb der Platte reflectirt ist. Das reflectirte Li ist also bei dunkel gefärbten Platten fast weifs, wenigstens viel schwäcl gefärbt, als das durchgelassene Licht. Demnach erhält das Au des Beobachters von dem Spiegelbild *g* des Fleckes *f* her nur dur gelassenes, also gefärbtes Licht, was von *a b* kommt, von dem hellen Grun theils durchgelassenes farbiges, theils reflectirtes weifsliches Licht, und v dem Flecke *e* her nur reflectirtes weifsliches Licht. Obgleich nun dies letztere Licht nicht ganz weifs ist, sondern immer noch Theile gefärbt Lichtes von der Farbe des Glases enthält, erscheint es doch im Contr gegen die Farbe des Grundes complementär gefärbt, der Fleck *g* dageg natürlich in der gesättigten Farbe des Glases. Ist also z. B. das Glas gr so erscheint *e* rosaroth, *g* grün.

Auch hier mufs man darauf sehen, dafs der Unterschied zwischen d Helligkeit, in der *e* und der Grund erscheint, nicht zu grofs wird, und de halb bei farbigen Gläsern, die viel Licht durchlassen, die Fläche *a b* du ein weifses Papier beschatten. Übrigens ist die Contrastfarbe von *e* de licher, wenn der dem Grunde gleichnamig erscheinende Fleck *f* da ist, wenn er fehlt. Beide werden hier unter scheinbar gleichen Bedingungen g sehen, und die Vergleichung ihres Aussehens steigert den Gegensatz. Suc sich nun der Beobachter ein graues Papier aus, welches genau diesel Farbe hat, wie ihm der Fleck *e* ohne Contrast erscheinen würde, und brin er davon ein Schnitzelchen über die farbige Glasplatte, so dafs es ihm d Fleck *e* halb verdeckt, so erscheint ein solches Schnitzelchen gar nicht od nur zweifelhaft complementär gefärbt, und sobald man die Farbe des Fleck mit ihm vergleicht, und sie als gleich anerkennt, schwindet auch die Co plementärfarbe von *e* und verwandelt sich in einfaches Grau. Es ist di ganz dieselbe Erscheinung wie bei der ersten Methode.

406 Ähnliche Erscheinungen, die freilich nur sehr kleine durch Contrast g färbte Felder, aber doch eine lebhafte und deutliche Wirkung zeigen, si folgende. Man nehme eine schwach gefärbte etwas dicke Glasplatte et von gewöhnlichem grünlichen Fensterglas, und betrachte in ihr das Spieg bild einer hellen weifsen Fläche. Dabei wirft die vordere Fläche der Plat rein weifses Licht zurück, die hintere grünliches, weil letzteres der a sorbirenden Wirkung des Glases ausgesetzt gewesen ist. Nun bringe m zwischen die Platte und die helle Fläche ein schmales schwarzes Stäbche welches in zwei Spiegelbildern erscheint, deren eines von der vorderen, ein von der hinteren Fläche der Platte reflectirt wird. Wo das von der vorder Fläche entworfene Spiegelbild gesehen wird, empfängt das Auge des Beo achters noch grünliches Licht von der hinteren Fläche, wo das Spiegelbi der hinteren Fläche liegt, noch weifses Licht von der vorderen Fläche. D Grund erscheint daher weifs, kaum etwas grünlich, das erstere Spiegelbi

in, das zweite durch Contrast sehr deutlich rosaroth. Noch deutlicher d die Erscheinung, wenn man die hintere Fläche eines solchen gefärbten ses mit Spiegelfolie belegt, und die Nachbilder unter so schiefer Incidenz rachtet, dafs beide gleich stark erscheinen.

Ähnlich ist folgender Versuch. Man lege ein farbiges, z. B. grünes, auf weifses Papier (besser ein graues von gleicher Helligkeit). Nahe dem nde, wo das grüne und weifse Feld zusammenstofsen, mache man auf jedes beiden einen kleinen schwarzen Fleck, und setze ein Rhomboeder von ppelspath auf diese Stelle. Durch den Krystall sieht man alle Punkte Unterlage doppelt. In der Mitte erscheint ein grünweifser Streifen, wo das ordentliche Bild des Weifs mit dem aufserordentlichen des Grün kt. Man mufs die Anordnung so treffen, dafs in diesem Streifen je eines Bilder der beiden schwarzen Flecke erscheint. In dem ordentlichen le des auf dem Weifs befindlichen schwarzen Flecks fehlt Weifs, ist aber in vorhanden, der Fleck ist grün. In dem aufserordentliichen Bilde des dem Grün befindlichen schwarzen Flecks fehlt Grün, ist aber Weifs vorden; durch Contrast erscheint er lebhaft rosenroth.

In den zuletzt beschriebenen Versuchen hängt die Contrastwirkung nicht r allein ab von einer bestimmten Vertheilung der Farben im Gesichtse. Wir haben gesehen, dafs diese bei zwei verschiedenen leichten Aberungen desselben Versuchs genau gleich sein kann, und doch in dem n Falle die Contrastwirkung deutlich eintritt, im anderen nicht oder igstens unsicher. Sobald das contrastirende Feld als ein selbständiger per anerkannt wurde, der über dem farbigen Grunde lag, oder auch nur h eine hinreichende Bezeichnung seiner Grenzen als ein gesondertes l genügend abgetheilt war, fiel der Contrast fort. Da also das Urtheil die räumliche Lage, über die körperliche Selbständigkeit des beenden Objects entscheidend für die Bestimmung der Farbe ist, so folgt, die Contrastfarbe hier nicht durch einen Act der Empfindung, sondern h einen Act des Urtheils oder der Abschätzung entsteht. Die Art er Urtheilsacte, durch welche wir zur Wahrnehmung von Objecten mit immten Eigenschaften gelangen, wird in der dritten Abtheilung genauer rochen werden. Da die bezeichneten Urtheilsacte überwiegend oft unfst und unwillkürlich vollzogen werden, so ist es natürlich oft schwer, 407
mitteln, auf welcher Verkettung von Eindrücken das endliche Resultat ht, und es liegt in der Natur der Sache, dafs sehr verschiedenartige Umle von Einflufs sein können. Ich will versuchen hier dergleichen Umle zu bezeichnen, so weit ich bei der Neuheit des Gegenstandes sie aufden weifs.

Die bisher beschriebenen Versuche haben etwas Gemeinsames, welches Eintritt der Contrastwirkung sehr zu unterstützen scheint, obgleich auch diesen Umstand Contrast zu Stande kommen kann. In allen diesen n scheint nämlich eine farbige Beleuchtung oder eine farbige hsichtige Decke über das Feld ausgebreitet zu sein, und die An-

schauung ergiebt nicht unmittelbar, dafs sie auf der weifsen Stelle fehlt so dafs hier nicht blos einfach an Stelle des Weifs die Complementärfarb des Grundes gesetzt wird, dafs man vielmehr an die Stelle des Weifs zwe neue Farben setzt, die gemeinsame Farbe der Decke oder Beleuchtung un deren Complement. Am klarsten ist das Verhältnifs bei der in *Fig. 19* dargestellten Anordnung, wo man durch das unter 45° geneigte grüne Gla sieht. Man urtheilt, dafs der schwarze Fleck des unteren horizontale Blattes rosenroth sei, aber man urtheilt auch, dafs man diesen Fleck wi das ganze Blatt mit seiner rosenrothen Farbe durch das grüne Glas seh und dafs die grüne Farbe, welche das Glas giebt, sich ununterbrochen übe die ganze unterliegende Fläche erstreckt, auch über den dunkeln Fleck. Ma glaubt also an dieser Stelle gleichzeitig zwei Farben zu sehen, nämlic das Grün, welches man der Glasplatte zuschreibt, und das Rosenrotl welches man dem dahinter liegenden Papier zuschreibt, und beide zusamme geben in der That die wahre Farbe dieser Stelle, nämlich Weifs. In de That müfste ein Object, welches, durch ein grünes Glas gesehen, weifse Licht in das Auge sendet, wie dieser Fleck, rosenroth sein. Bringen w aber ein genau ebenso aussehendes weifses Object oberhalb der Glasplat an, so fällt jeder Grund weg, die Farbe des Objects in zwei zu zerlege es erscheint uns weifs.

Ebenso wenn farbige Flächen mit durchscheinendem Papier bedeckt sin Ist die Unterlage grün, so erscheint das Papier selbst grünlich gefärbt. Ge nun die Substanz des Papiers ohne sichtbare Unterbrechung über das unte gelegte Grau hin, so glaubt man ein Object durch das grünliche Papier hi durchschimmern zu sehen, und ein solches Object mufs wiederum rosenro sein, um weifses Licht zu geben. Ist aber die weifse Stelle als selbstä diges Object abgegrenzt, fehlt die Continuität mit dem grünlichen Th der Fläche, so betrachtet man sie als ein weifses Object, welches auf dies Fläche liegt. Ich habe schon oben im § 20 erwähnt, dafs eine solc Trennung zweier Farben, die in demselben Theile des Gesichtsfeldes vorhand sind, durch das Urtheil vorkomme. Wir lernten diesen Umstand dort a ein Hindernifs für das ungestörte Zustandekommen der Empfindung ein Mischfarbe kennen. Eine solche Trennung tritt sehr häufig ein, sobald d beiden Farben ungleichmäfsig verbreitet sind. Man glaubt dann, wie Vol mann[1], der diese Erscheinungen zuerst erwähnt hat, es beschreibt, die ei
408 Farbe durch die andere hin zu sehen. Die Fähigkeit, eine solche Trennu auszuführen, scheint mir auf folgendem Umstande zu beruhen. Ihre wic tigste Bedeutung haben die Farben für uns, insofern sie Eigenschaften d Körper sind, und als Erkennungszeichen der Körper benutzt werden könn Wir gehen deshalb bei unseren Beobachtungen mit dem Gesichtssinne st darauf aus, uns ein Urtheil über die Körperfarben zu bilden, und dabei d Verschiedenheiten der Beleuchtung, unter der sich ein Körper uns darbiet

[1] Volkmann, *Müllers Archiv für Anat. und Physiol.* 1838. S. 373.

eliminiren. Ich habe in § 20 schon erwähnt, dafs wir in diesem Sinne utlich unterscheiden zwischen einem weifsen Blatte in schwacher Be- uchtung und einem grauen Blatte in starker Beleuchtung, daher wir eine wisse Schwierigkeit finden, uns davon zu überzeugen, dafs hell beleuch- tes Grau gleich sei schwach beleuchtetem Weifs. Wir müssen künstlich is starke Licht genau auf das graue Feld beschränken, so dafs wir aus m Sinneneindruck nicht entnehmen können, das Grau sei stärker beleuchtet s der Rest des Gesichtsfeldes. Erst dann erkennen wir seine Identität it Weifs. So wie wir nun gewöhnt und geübt sind, uns ein Urtheil über örperfarben zu bilden mit Elimination der verschiedenen Helligkeit der eleuchtung, unter der wir sie sehen, so eliminiren wir auch die Farbe der eleuchtung. Wir haben hinreichende Gelegenheit dieselben Körperfarben i untersuchen bei vollem Sonnenschein, bei dem blauen Licht des klaren immels, bei dem schwachen weifsen Licht des bedeckten Himmels, bei m rothgelben Licht der sinkenden Sonne, und bei dem rothgelben Licht r Kerzen. Dazu kommen noch die farbigen Reflexe der umgebenden örper. In einem Laubwalde ist die Beleuchtung überwiegend grün, in immern mit farbigen Wänden den Wänden gleichfarbig. Dieser letzteren nderungen der Beleuchtung werden wir uns nicht einmal deutlich bewufst, id doch kann man sie mittels der farbigen Schatten oft genug nachweisen. idem wir die gleichen farbigen Gegenstände unter diesen verschiedenen eleuchtungen sehen, lernen wir uns trotz der Verschiedenheit der Be- uchtung eine richtige Vorstellung von den Körperfarben zu bilden, d. h. zu eurtheilen, wie ein solcher Körper in weifser Beleuchtung aussehen würde, id weil uns nur die constant bleibende Körperfarbe interessirt, werden wir is der einzelnen Empfindungen, auf denen unser Urtheil beruht, gar nicht ewusst.

So sind wir denn auch nicht in Verlegenheit, wenn wir einen Körper urch eine farbige Decke hindurch sehen, zu scheiden, was der Farbe der ecke und was dem Körper angehört. Dafs wir in den beschriebenen Ver- ichen dasselbe thun, auch da, wo die Decke über dem Körper gar nicht rbig ist, verursacht, oder befördert wenigstens die Täuschung, in die wir erfallen, und vermöge deren wir dem Körper eine falsche Farbe, die Com- iementärfarbe des farbigen Theils der Decke zuschreiben.

Während wir aber geübt sind in einer einfarbigen Beleuchtung die örperfarben richtig zu erkennen, reicht unsere Übung doch nicht zu, das- elbe zu thun, wenn zwei verschiedenfarbige Beleuchtungen von zwei ver- chiedenen Seiten und von eng begrenzten und scharfe Schatten werfenden ichtquellen kommen. Denn in den meisten der oben aufgezählten Fälle rbiger Beleuchtung sind die farbigen Flächen sehr breit, und das farbige icht ist deshalb ziemlich gleichmäfsig über alle Seiten der betrachteten bjecte verbreitet. Wir gewöhnen uns deshalb, von allen farbigen Flächen 409
hne Unterschied, so weit sie im Bereich der farbigen Beleuchtung sind, ie Farbe der Beleuchtung abzuziehen, um die Körperfarbe zu finden. Das-

selbe thun wir nun bei den farbigen Schatten, wo zwei farbige Belei tungen sich verbinden. Kommen Kerzenlicht und Tageslicht zusammen, ist die Beleuchtung des Grundes weifslich rothgelb. Dieses Rothgelb Beleuchtung subtrahiren wir nun auch von der Farbe des Schattens, zu gar kein Kerzenlicht gelangt, und halten diesen für blau, während er w ist. Wie in der That sich die Anschauung bildet, dafs die farbige leuchtung sich bei solchen farbigen Schatten und in der durchscheinen Papierdecke auch über den objectiv weissen Fleck hinziehe, zeigt namentlich, wenn kleine Unregelmäfsigkeiten des Papiers die Beleucht fleckig machen; dann glaubt der Beobachter diese Fleckchen in der farbi Beleuchtung zu sehen, die hier gar nicht existirt.

Weitere Beispiele, die sehr geeignet sind, unsere Fähigkeit zu zeig zwei Farben hinter einander gelegener Objecte von einander zu trennen, la ich hier noch folgen. Das erste schliefst sich an VOLKMANN's schon wähnte Versuche an, der zwei farbige schmale Papierstreifen vor das A hielt, einen ganz nahe, den anderen in der Entfernung des deutlic Sehens, und dabei bemerkte, dafs er, statt die Mischfarbe zu sehen, die e Farbe durch die andere hin sah. Man bringe einen grünen Schleier di vor die Augen, und lasse ihn hinreichend stark beleuchten, dafs sich ganze Gesichtsfeld mit einem grünen Scheine füllt, während das Muster die Falten des Schleiers nur in einem sehr verwaschenen Zerstreuungsbi erscheinen. Man wird ohne Schwierigkeit die Farben der dadurch sehenen Gegenstände richtig erkennen, obgleich auf der Netzhaut sich allen Farben noch das grüne Licht des Schleiers mischt. Ja noch a fallender wird es, wenn nach einiger Zeit Ermüdung des Auges für das gr Licht eintritt, dann färben sich nämlich die durch den Schleier gesehe Gegenstände sogar rosenroth, trotz der Zumischung des grünen Lichts ihrem Netzhautbilde. Am besten zeigt sich dies, wenn wir nur mit d rechten Auge durch den grünen Schleier sehen und das linke schliefs Nach kurzer Zeit sieht ein weifses Papier, durch den Schleier gesehen, ni nur weifs, sondern sogar röthlich weifs aus. Wenn wir nun das rec Auge schliefsen, das linke unbedeckte öffnen, so erscheint das Papier Gegensatz dazu jetzt diesem Auge grün. Abwechselnd das rechte und li Auge öffnend, sehen wir dann mit jenem, wo das Netzhautbild des Papie grünlich-weifs ist, das Papier röthlich, mit diesem, wo das Netzhautbild w ist, umgekehrt das Papier grünlich.

Derselbe Erfolg tritt bei dem von SMITH[1] in Fochabers angegeben und von BRÜCKE[2] veränderten und theoretisch erklärten Versuche ein. We man nahe neben dem rechten Auge eine hell brennende Flamme anbrin oder die Sonne von rechts her das Auge bescheinen läfst, aber so, dafs k Licht direct in die Pupille eindringt, während das linke Auge beschat
410 wird, so erscheinen dem rechten Auge weifse Gegenstände grünlich, d

[1] SMITH, *Edinb. Journ. of Science.* V. 52. — *Pogg. Ann.* XXVII. 494. 1832.
[2] BRÜCKE, *Denkschrift der k. k. Akad. zu Wien.* III. Bd. *Pogg. Ann.* LXXXIV. 418. 1851.

linken röthlich gefärbt. Man sieht dies deutlich, wenn man hinter einander bald das rechte, bald das linke Auge öffnet, oder wenn man vor beide Augen ein weifses Blatt Papier bringt und ein in der Mitte zwischen Augen und Papier gehaltenes schwarzes verticales Stäbchen fixirt, welches man dann in zwei Bildern, eines dem rechten, das andere dem linken Auge angehörig, auf das Papier projicirt sieht. Auch dann ist das links erscheinende Bild, wo das linke Auge die Papierfläche sieht, aber nicht das rechte, roth, das andere grün. Fixirt man dagegen eine schwarze Tafel und hält in einiger Entfernung davor ein weifses Object, welches im Doppelbilde erscheint, so ist das rechte Bild roth, welches jetzt das vom linken Auge gesehene ist, das linke grün. Dem seitlich beleuchteten Auge also erscheint Weifs grünlicher als dem nicht beleuchteten Auge. Nun dringt unter diesen Umständen Licht durch die Sclera und die Augenlider in das beleuchtete Auge, und dieses Licht ist roth, wie wir aus früheren Versuchen[1] schon wissen. Läfst man Sonnenlicht seitlich auf das Auge scheinen, so erkennt man auch die rothe Farbe auf dunklen Objecten. Betrachtet man z. B. eine Druckschrift, so erscheinen die schwarzen Buchstaben schön roth, das weifse Papier grün. Dies rothe seitlich eingedrungene Licht zerstreut sich über den gröfsten Theil des Augengrundes, und die Netzhautstellen des beleuchteten Auges, welche das Bild eines weifsen Objects aufnehmen, werden also gleichzeitig von weifsem und rothem Lichte beleuchtet, empfinden aber grünlich weifs. Die grünliche Färbung wird bei längerer Fortsetzung des Versuchs immer deutlicher, weil sie von der Ermüdung des Auges für Roth abhängt. Aber sie kann bei der überwiegend rothen Beleuchtung der Netzhaut nur dadurch zu Stande kommen, dafs die schon vorher bestehende und ausgebreitete Erleuchtung des Grundes getrennt wird von dem hinzukommenden Lichte der Objecte, und das letztere grünlich erscheint, weil das Auge für roth ermüdet ist. Im Gegensatz hierzu erscheint nun im unveränderten Auge das reine Weifs röthlich.

Man betrachte ferner die Spiegelbilder der Tapeten und der Decke eines Zimmers in der gut polirten Oberfläche einer Mahagony-Tischplatte. Accommodirt man das Auge für die gespiegelten Gegenstände, so erscheinen diese entweder in natürlicher Farbe, oder auch oft etwas bläulich, complementär zur Farbe der Platte. Accommodirt man das Auge dagegen für die Platte, so sieht man, dafs die Summe des Lichtes, was von ihr herkommt, ganz überwiegend rothgelb ist. Die complementäre Färbung der Spiegelbilder tritt hier, wie ich finde, namentlich dann ein, wenn das gespiegelte Licht der Objecte verhältnifsmäfsig schwach gegen die Beleuchtung der Platte ist. Wenn dagegen bei sehr schrägem Einfall die Stärke des gespiegelten Lichts sehr zunimmt, die Holzmaserung dagegen verschwindet, so erscheinen die Spiegelbilder oft im Gegentheil röthlich, indem man dann die Trennung zu vollziehen keine Veranlassung mehr hat. Bei diesen zuletzt

[1] S. oben S. 192.

beschriebenen Erscheinungen ist das hinzukommende Licht besonders glei mäfsig der Zeit und der Fläche nach über das ganze Bild, über seine hel und dunklen Stellen ausgegossen, von den Bewegungen des Auges un hängig, während die körperlichen Objecte mit ihren gewöhnlichen Farb unterschieden erscheinen. Dies scheint die Deutung desselben als ei unabhängigen Theils der Farbeneindrücke zu begünstigen. Dasselbe ist a bei den Papierdecken der Fall.

414 Von den früheren Beobachtern ist in den theoretischen Erklärungen der (trasterscheinungen immer vorausgesetzt worden, dafs die Reactionsweise der Ner die Empfindung, in den inducirten Theilen der Netzhaut verändert sei, dafs Contrasterscheinungen also in gewissem Sinne in das Gebiet der Mitempfindun gehörten, zu welchen viele Forscher auch die Irradiation rechneten. In gewis Sinne hatte man allerdings Recht von veränderter Empfindung zu sprechen, inso man bei den Beobachtungen den successiven Contrast nicht genau von dem sir tanen getrennt hatte, und also allerdings eine Änderung der Empfindung dı Nachbilder eintreten konnte. Ich habe hier, so viel ich weifs, die Trennung successiven und simultanen Contrastes zuerst methodisch für alle Fälle durchzufül gesucht und gefunden, dafs in den Fällen, wo die inducirende Farbe nicht dı ihre Ausdehnung und Lichtstärke alle anderen überwiegt, das Auftreten der (trastfarbe von Umständen abhängt, die nur durch die psychischen Thätigkei
415 durch welche es zu Gesichtswahrnehmungen kommt, festgestellt werden. W dem inducirten Felde körperliche Selbständigkeit zugeschrieben wird, kommt unter der genannten Bedingung meist nicht zur Wahrnehmung der Contrastfa Die Art der hierbei vorkommenden Täuschung des Urtheils habe ich schon (bezeichnet. Es handelt sich immer um Fälle, wo eine gewisse Breite des Zwe über die Art der inducirten Farbe besteht, weil ein genauer Vergleich dersel mit Weifs nicht ausführbar ist, und wo deshalb unser Wahrnehmungsvermö durch Nebenumstände veranlafst wird, die betreffende Farbe bald an die eine, an die andere Grenze des Intervalls zu verlegen, innerhalb dessen die Unsicher besteht. Denjenigen meiner Leser, welche den Einflufs der psychischen Thä keiten auf unsere Sinneswahrnehmungen noch wenig kennen, wird es vielleicht glaublich vorkommen, dafs durch psychische Thätigkeit eine Farbe im Gesichtsf erscheinen soll, wo keine ist; ich mufs diese bitten, ihr Urtheil zu suspendi bis sie die Thatsachen des dritten Abschnittes dieses Werkes, der die Sin wahrnehmungen behandeln wird, kennen gelernt haben, wo sie viele Beispiele licher Art finden werden. Es leitet uns der vorliegende Paragraph zur Lehre den Gesichtswahrnehmungen schon hinüber. Ich habe ihn in der Lehre von Empfindungen noch stehen lassen, weil der Contrast bisher immer dort seine S fand, und die gewöhnlichsten Erscheinungen, die zu ihm gehören, gemisc Natur sind.

Da die meisten Contrasterscheinungen von der Breite der Unsicherheit in Beurtheilung der Intensität und Qualität unserer Gesichtsempfindungen abhä sind, so mufs nothwendig Übung in der Beurtheilung der Farben einen beträ lichen Einflufs auf das Eintreten des Contrastes haben. So wie ein in der B theilung räumlicher Gröfsen geübtes Auge sich vor manchen Täuschungen h wird, in die ein ungeübtes verfällt, wird es auch bei den Farbenbestimmungen schehen, und ich glaube deshalb, dafs geübte Augen den Contrast im Allgeme

niger lebhaft sehen werden, als ungeübte. Meine Versuche wurden mir von rsonen, die in optischen Beobachtungen erfahren waren, leicht bestätigt. Dagen sind in manchen Büchern die Contrasterscheinungen so beschrieben, dafs ich nehmen mufs, sie seien manchen Beobachtern viel leichter sichtbar und viel ufiger als mir.

Während nun die Contrasterscheinungen bei begrenztem inducirendem Felde rch die Abhängigkeit der Färbung von anderen nur durch Beurtheilung feststellten Umständen keinen Zweifel über ihre Deutung lassen, sind die Contraste i unbegrenztem inducirendem Felde viel constanter, und würden deshalb eher die utung zulassen, dafs sie durch Veränderungen der Empfindung selbst hervorrufen seien. Indessen sind offenbar bei diesen letzteren die Bedingungen noch l ungünstiger als bei den ersten, um die empfundene Farbe des inducirten Feldes her bestimmen zu können, weil eben die Vergleichung der Farbe dieses Feldes t anderem Weifs ganz fehlt, oder wenigstens viel beschränkter ist. Aufserdem gen die Contraste auf unbegrenztem inducirendem Felde, wenn sie auch constanter ftreten, doch in ihren Intensitätsverhältnissen eine vollständige Analogie mit denen s begrenzten Feldes. Es wird in allen diesen Fällen die Contrastfarbe in voller ensität schon durch eine sehr kleine Intensität der inducirenden Farbe hervorufen, und durch Steigerung der letzteren nicht oder wenig verstärkt. Dagegen nn sie eine deutliche Verstärkung erleiden, sobald wirklich die Empfindung durch chbilder verändert wird. Sie wird endlich durch das Urtheil in voller Intensität tgehalten, sobald man alle anderen Farben aus dem Gesichtsfelde entfernt. Ich eifle deshalb nicht, dafs auch bei grofsem inducirendem Felde die Deutung der scheinungen die nämliche sein müsse, wie bei kleinem, dafs auch hier die Constfarbe nur durch eine falsche Schätzung gesetzt sei, wenn ich auch in diesen 416
llen noch keinen so genügenden Beweis für diese Deutung liefern kann.

Die Contrasterscheinungen sind dem Leonardo da Vinci grofsentheils schon bekannt vesen. Er sagt, dafs unter allen Farben von gleicher Vollkommenheit jene die önsten sind, welche neben den entgegengesetzten stehen, also Weifs neben Schwarz, u neben Gelb, Roth neben Grün.[1] Später waren es namentlich die farbigen Schatten, lche von allen anderen Contrasterscheinungen die Aufmerksamkeit in Anspruch nahmen. o v. Guericke[2] kannte sie, und suchte sie zu benutzen, um den Aristotelischen Satz, s Weifs und Schwarz gemischt Blau geben könnten, zu beweisen. Aber erst Buffon[3] kte die allgemeinere Aufmerksamkeit auf sie; er beobachtete sie indessen nur immer ällig bei Sonnenaufgang oder Untergang, wo sie bald blau, bald grün waren. Abbé zeas[4] erzeugte sie durch das Licht des Mondes und einer Kerze. Auch er glaubte Farben aus einer Verminderung des Lichtes erklären zu können. Dagegen suchten lville[5] und Bouguer[6] die Erscheinungen aus Newton's Farbentheorie zu erklären. hielt die Farben für objectiv, weil in der That die blauen Schatten, wenn sie von Lichte des blauen Himmels erleuchtet werden, objectiv blau gefärbt sind. Dafs klich das blaue Licht des Himmels in vielen Fällen Grund der blauen Schatten ist, te namentlich Beguelin.[7] Rumford[8] scheint zuerst die subjective Natur der Farbe

---

[1] Leonardo da Vinci, *Trattato della pittura.* 1651. Cap. CC. — Farbige Schatten in Cap. CLVI. CCCXXVIII.

[2] Guericke, Exper. Magdeb. p. 142. 1672.

[3] Buffon, *Mém. de l'Acad. de Paris.* 1743. p. 217.

[4] Mazeas, *Abh. der Akad. zu Berlin.* 1752.

[5] Melville, *Edinb. Essays.* Vol. II. p. 75. 1760.

[6] Bouguer, *Traité d'Optique.* p. 368. 1760.

[7] Beguelin, *Mém. de l'Acad. de Berlin.* 1767. p. 27.

[8] Rumford, *Philos. Transact.* LXXXIV. 107; *Gren's neues Journal der Physik.* II. 58.

des einen Schattens entdeckt zu haben, indem er ihn durch ein enges Rohr betrachtet derselben Ansicht schlossen sich GOETHE,[1] GROTTHUSS,[2] BRANDES,[3] TOURTUAL[4] an. D gegen stritten noch längere Zeit andere Beobachter für die objective Natur beid Schattenfarben, so v. PAULA SCHRANK,[5] der die Farbe des blauen Schattens der Diffractic zuschrieb, ZSCHOKKE,[6] OSANN[7] und POHLMANN,[8] welcher sich BEGUELIN's Ansicht wied anschlofs. Dagegen führte namentlich FECHNER[9] den Beweis von der subjectiven Nat dieser Erscheinungen, er wies unter anderem auch nach, wie durch eine Thätigkeit d Urtheils die einmal hervorgetretene Contrastfarbe festgehalten werden könne, und b reicherte die Zahl der Beobachtungen, doch wagte er noch keine Theorie dieser E scheinungen aufzustellen. PLATEAU[10] zog die Contrasterscheinungen mit in seine Theor der Nachbilder hinein; wie die Netzhaut der Zeit nach in entgegengesetzte Gegenstän überginge, sollte sie es auch der Fläche nach thun, so dafs zunächst um die erreg Stelle die gleiche Phase stattfinde, welche sich in den Irradiationserscheinungen kur gebe, und in weiterer Entfernung die entgegengesetzte, welche den Contrast hervorru

Die Ansicht, dafs die Contrasterscheinungen sich durch Nachbilder erklärten, wur schon von JURIN[11] vorgetragen, später von BRANDES. Sie war für einen Theil der E scheinungen richtig, aber nicht für alle, und FECHNER namentlich zeigte, dafs auch oh vorhergehende Ermüdung der betreffenden Netzhautstelle Contrastfarben entstehen könnte

§ 25. Verschiedene subjective Erscheinungen.

418 Es bleiben noch einige subjective Gesichtserscheinungen zu beschreib übrig, deren Erklärung für jetzt unmöglich oder wenigstens ziemlich zweif haft ist, und welche deshalb in die vorausgegangenen Paragraphen nic eingereiht werden konnten.

1. Erscheinungen des gelben Flecks. Der gelbe Fleck bild eine in vielen Beziehungen ausgezeichnete Stelle der Netzhaut. Die Eige thümlichkeiten seiner anatomischen Structur sind auf S. 34—36 beschriebe Ferner zeichnet er sich physiologisch aus durch die Schärfe in der Wah nehmung kleiner Bilder, worin sein Centrum, die Netzhautgrube, alle ander Stellen der Netzhaut bei weitem übertrifft. Dadurch erhält er auch sei Bedeutung als Fixationspunkt. Wie er im entoptischen Bilde sichtb gemacht werden kann, ist schon im § 15 (S. 192—196) auseinandergesetz er zeichnet sich bei dieser Beobachtungsweise dadurch aus, dafs die Gefäf in seinem Centrum fehlen, und aufserdem durch den Schatten, den die sei lichen Abhänge der Netzhautgrube bei schiefer Beleuchtung werfen. Betre der Empfindungen dieser Netzhautstelle haben wir schon erwähnt, dafs s bei der elektrischen Durchströmung des Auges je nach der Strömung richtung bald dunkel auf hellem Grunde, bald hell auf dunklem Grunde si

---

1 GOETHE, *Farbenlehre.* S. 27.
2 GROTTHUSS, *Schweigger's Beiträge zur Chemie und Physik.* III. 14. 1811.
3 BRANDES, *Gehler's neues Wörterbuch.* Art. Farbe. 1827.
4 TOURTUAL, *Die Erscheinungen des Schattens.* Berlin 1830.
5 v. PAULA SCHRANK, *Münchener Denkschr.* 1811 und 12. S. 293, und 1813. S. 5.
6 ZSCHOKKE, *Unterhaltungsblätter für Natur- und Menschenkunde* 1826. S. 49.
7 OSANN, *Pogg. Ann.* XXVII. 694. 1832; XXXVII. 287. 1836; XLII. 72.
8 POHLMANN, Ebenda. XXXVII. 1836. 319—341.
9 FECHNER, Ebenda. XLIV. 221. 1838. L. 483. 1840.
10 PLATEAU, *Ann. de chim. et de phys.* LVIII. 339. 1834. *Pogg. Ann.* XXXII. 543; XXXVIII. 626 18
11 JURIN, *Essay on distinct and indistinct vision.* p. 170. 1738.

›zeichnet, ferner dafs sie bei mäfsig schnell intermittirendem Lichte sich ırch eine eigenthümliche sternförmige Zeichnung in den schillernden igurenmustern der Netzhaut hervorhebt.

Es ist jetzt noch zu erwähnen, dafs sie auch bei gleichmäfsig aus- ›breiteter, namentlich blauer Beleuchtung sich eigenthümlich abzeichnet. s erscheinen hierbei verschiedene Theile des gelben Flecks, nicht immer le gleichzeitig, unter verschiedenen Bedingungen verschieden deutlich. Das entrum des gelben Flecks ist die Netzhautgrube, in deren Grunde die etzhaut sehr dünn, durchsichtig und ungefärbt ist. Ihr Durchmesser ist ıch Koelliker 0,180 bis 0,225 mm. Ihr Abstand vom hinteren Knoten- ınkte des Auges ist 15 mm, also im Mittel 75 mal so grofs als ihr Durch- esser. Ihre scheinbare Gröfse im Gesichtsfelde ist also ein Kreis, dessen ırchmesser 40 bis 50 Minuten beträgt. Sie erscheint, wenn sie sichtbar wird, wöhnlich als ein gut begrenzter regelmäfsiger Kreis. Die Netzhautgrube ngebend erscheint oft ein dunkler Hof, dessen Gröfse ungefähr der gefäfs- 419
sen Stelle des gelben Flecks entspricht, wie sie erscheint, wenn man die ›fäfse entoptisch sichtbar macht. Die äufsere Begrenzung dieses Hofes, n wir den gefäfslosen nennen wollen, ist verwaschen, sein Durchmesser gefähr dreimal gröfser als der der Netzhautgrube, beträgt also etwas über Winkelgrade. Bald erscheint seine Grenze ziemlich kreisförmig, namentlich i schwachem Lichte, bald einem Rhombus ähnlicher, dessen längere agonale horizontal liegt. In letzterer Weise erscheint sie mir selbst mentlich bei stärkerem Licht. Es entspricht diese Stelle anatomisch dem ttleren intensiv gelb gefärbten Theile des gelben Flecks, dessen horizon- ier Durchmesser von H. Müller in zwei Augen gleich 0,88 und 1,5 mm, r verticale gleich 0,53 und 0,8 gefunden wurde. Übrigens breitet sich gelbe Färbung noch viel weiter aus, ist aber schwach und verwaschen.

Endlich sieht man bei stärkerem Licht den dunklen gefäfslosen Hof ch umgeben von einem hellen Hofe, dessen äufsere Begrenzung sehr bestimmt bezeichnet ist, und die mir selbst ebenfalls mehr rhombisch, als eisförmig erscheint. Ihre beiden Durchmesser sind etwa dreimal so grofs, die des dunklen gefäfslosen Hofes. Ein anatomisch wohlbegrenztes bstrat dieser Stelle läfst sich nicht bezeichnen. Die gelbliche verwaschene rbung der äufseren Theile des gelben Flecks fällt mit diesem hellen fe einigermafsen zusammen. Doch läfst sich über die Congruenz ihrer öfse nichts sagen, da die Ausdehnung der schwachen gelben Färbung zu ite individuelle Abweichungen zuläfst. Vielleicht verdankt dieser äufserste le Hof seinen Ursprung auch nur einer Constrastwirkung, wir können ihn ch seinem Entdecker, dem er kreisförmig erschien, den Loeweschen ıg nennen.

Loewe[1] entdeckte diesen Ring, indem er durch eine klare seladongrüne flösung von Chromchlorid nach einer hellen Fläche sah. Der Ring erschien

[1] Haidinger in *Pogg. Ann.* LXX. 403. LXXXVIII. 451. *Wiener Sitzungsber.* IX. 240.

im Vergleich zu dem grünlichen Grunde violett, den mittleren dunkler Hof umgebend, so daſs ihn HAIDINGER mit einem Abbilde der Iris vergleic die die dunkle Pupille umgiebt. HAIDINGER zeigte, daſs dichromatisc Mittel zur Herstellung der Ringe nicht nöthig seien, daſs sie im homogen Blau des prismatischen Spectrum erscheinen, und auch in gemischtem Lic welches genügend Blau enthält. In letzterem zeigen sie verschiedene Farbe unterschiede von dem übrigen Grunde, je nach der Beschaffenheit der dem Bl zugemischten Farben. Verschiedenen Augen scheint dieser Ring mit ve schiedener Deutlichkeit zu erscheinen, so daſs viele ihn überhaupt nic sehen können. Ich selbst sehe ihn nur bei einer gewissen mittle Helligkeit, derjenigen etwa, die mir zum Schreiben und Lesen bequem ist. We ich vor die Augen ein blaues Glas halte, sie durch Verschluſs der Lic eine Weile ausruhe und dann durch das Glas nach einer weiſsen Papi fläche sehe, erblicke ich deutlich den gefäſslosen Hof als einen rhombisch schattigen Fleck, umgeben von einem rhombischen, heller blauen Streif den LOEWEschen Ring. Bei etwas gröſserer und etwas kleinerer Helligk
420 erscheint mir der LOEWEsche Ring schmaler, bei noch gröſseren Abweichung der Helligkeit sehe ich nur den dunklen gefäſslosen Hof ohne helle U säumung.

Der dunkle gefäſslose Hof ist der constanteste Theil der Erscheinu Sein Verhalten ist zuerst von MAXWELL[1] genauer untersucht worden. We man homogenes Licht anwendet, erscheint er nach ihm nur im Blau, nic in anderen Farben. Übrigens erscheint er auch in gemischten Farben, we sie Blau reichlich enthalten, namentlich auch, freilich schwach, im Wei Wenn man das ausgeruhte Auge nach einer blauen Fläche hinwend erscheint er und schwindet bald wieder, bei heller Beleuchtung schneller, bei schwacher. MAXWELL empfiehlt, abwechselnd vor das Auge blaue u gelbe Gläser oder blaue und gelbe Papiere zu bringen. Im Blau ersche der Fleck, im Gelb verschwindet er. Ich selbst sehe ihn am schönsten Abendhimmel, wenn die ersten Sterne zu erscheinen anfangen, und man si schon längere Zeit im Freien befindet, so daſs die Augen hinreichend au geruht sind. Wenn man sie einige Augenblicke schlieſst und dann na dem Himmel hin öffnet, sieht man den gefäſslosen Hof einige Zeit lang se deutlich, die Netzhautgrube in seinem Innern auch häufig, und zwar einen etwas helleren Fleck von reinerem Blau, ziemlich scharf begren Dabei ist es eigenthümlich, daſs, wie schon MAXWELL bemerkt hat, d Lichteindruck in den centralen Stellen der Netzhaut einen Moment spät zur Empfindung kommt, als in den peripherischen Theilen. MAXWELL li zu dem Ende eine Reihe dunkler Streifen vor einem blauen Felde n gewisser Geschwindigkeit vorbeigehen. Man sieht es aber auch beim ei fachen Aufschlagen der Augen. Das Dunkel der geschlossenen Aug

---

[1] *Athenäum.* 1856. p. 1093. *Edinb. Journ.* (2) IV. 337. *Inst.* 1856. p. 424. *Rep. of British Associat* 1856. II. 12.

ıwindet deutlich von der Peripherie des Gesichtsfeldes nach dem Centrum ı, und der letzte Rest desselben bleibt als der MAXWELLsche Fleck be- ɦhen. Bei gewissen Helligkeitsgraden, namentlich dem oben bezeichneten s Himmels, wenn die ersten Sterne sichtbar werden, ist die Erscheinung im Aufschlagen der Augen noch complicirter. Während nämlich in der schriebenen Weise das Dunkel von der Peripherie nach dem Centrum ıwindet, sieht man auch noch entweder die Netzhautgrube allein, oder den ızen MAXWELLschen Fleck hell aufblitzen. Vielleicht geht das helle ıfblitzen der dunklen Erscheinung etwas voraus, aber die Zeit ist so kurz, ſs beides scheinbar gleichzeitig eintritt, wie auch AUBERT an Nachbildern i der Beleuchtung durch den elektrischen Funken ähnliches bemerkt hat.

Zuweilen, wenn die Netzhautgrube recht deutlich erscheint, sehe ich in m gefäſslosen Hofe noch schwache Linienzeichnungen, ähnlich den Um- sen einer vielblättrigen Blume (z. B. einer Georgine, Dahlia). Es sind s wohl Andeutungen derselben Zeichnung, welche deutlicher bei inter- ttirendem Lichte zum Vorschein kommt.

Eine ähnliche, aber regelmäſsigere und bestimmtere Art von Zeichnung n aber einen viel gröſseren Theil des Gesichtsfeldes einnahm, beschreibt . A. KOENIG.[1] Er hat sie mehrfach beim Aufwachen in einem halbdunklen nmer gesehen vor dem ersten Öffnen der Lider. Er sah dann das sichtsfeld mit regelmäſsigen Sechsecken ausgefüllt, die durch breite ıwarze Linien von einander abgegrenzt waren. Der Grund der Zeichnung chien graublau und die von rechts oben nach links unten gerichteten ien hatten einen ziemlich breiten gelben Saum. Jedes Sechseck enthielt meist etwas oberhalb seines Centrum stehendes schwarzes Pünktchen. etwa 30° Abstand von dem Fixationspunkt wurde die Zeichnung undeutlich. r scheinbare Durchmesser jedes Sechsecks wurde auf etwa 1° geschätzt. Zellen des Pigmentepithels der Netzhaut würden etwa nur unter 5′ rchmesser erscheinen können. Ein Stück des mittleren, deutlichsten iles dieser Erscheinung ist in *Fig. 3* auf *Taf. II* abgebildet.

Endlich muſs ich noch bemerken, daſs ich den MAXWELLschen Fleck oft 420 illig des Morgens nach dem Aufstehen, wenn ich das Auge zuerst auf ein les Fenster mit breiter lichter Fläche geheftet hatte, und es dann nach einem ıklen Orte wendete, hell auf dunklem Grunde gesehen habe. Absichtlich 421 Erscheinung hervorzurufen, ist mir bis jetzt nicht gelungen. Es erscheint rbei ein blendend heller Kreis von der Gröſse des gefäſslosen Hofes, nach Rändern hin abschattirt und mit Andeutungen der strahligen Zeichnung. se letztere Erscheinung läſst schlieſsen, daſs, wenn das Auge recht erholt reizbar ist, der Lichteindruck im gelben Fleck länger anhält, als in den igen Theilen der Netzhaut, während andererseits der Lichteindruck an selben Stelle auch später zu beginnen scheint, wie die beschriebenen cheinungen beim Öffnen des Auges zeigen. Daſs der stark gefärbte

[1] ARTHUR KOENIG, Eine bisher noch nicht bekannte subjective Gesichtserscheinung. *Graefes* r, Bd. 30 (3), S. 329.

Theil des gelben Flecks auf einem blauen Felde dunkel erscheint, sche der Absorption des blauen Lichts durch das gelbe Pigment zugeschriel werden zu dürfen. Gelb gefärbt sind hier gerade die Theile, welche den eigentlich lichtempfindlichen Theilen, den Zapfen, liegen. Dafs der Fl übrigens subjectiv nur schwach gezeichnet und schnell vorübergehend ersche erklärt sich in derselben Weise, wie das flüchtige Erscheinen der Gefäfsfig Das zuweilen vorkommende helle Aufblitzen des gelben Flecks dagegen b Öffnen des Auges läfst sich noch nicht erklären.

Wie bisher beschrieben, verhalten sich die Erscheinungen im ni polarisirten Lichte. Wenn man dagegen das Auge auf ein Feld richtet, wo polarisirtes Licht kommt, so erscheinen HAIDINGERS Polarisatio büschel im Fixationspunkte. Man sieht diese z. B., wenn man durch NICOLsches Prisma nach einem gut beleuchteten weifsen Papierblatte o nach einer hellen Wolkenfläche blickt. Die Büschel sind auf *Taf. II, Fi* abgebildet, wie sie liegen, wenn die Polarisationsebene des Lichtes vert ist. Die helleren durch zwei zusammengehörige Hyperbeln begrenzten Fle erscheinen auf weifsem Felde bläulich, der dunkle Büschel, der sie tre und, im Centrum am schmalsten, nach seinen Enden hin breiter ist, ist gegen gelblich gefärbt. Wenn man das NICOLsche Prisma dreht, dreht s die Polarisationsfigur um den gleichen Winkel. Nach einer Bemerkung BREWSTER, die ich für mein Auge bestätigen kann, ist der dunkle Büsc in seiner Mitte viel schmaler, wenn er horizontal (d. h. der Verbindungsli beider Augen parallel) gerichtet ist, als wenn er senkrecht steht, wie in Abbildung. Die Fläche, welche von der Polarisationsfigur bedeckt w erscheint MAXWELLS und meinem Auge an Gröfse dem gefäfslosen Hofe gelben Flecks gleich. Der Rand der Netzhautgrube geht ungefähr du die hellsten Stellen der blauen Flächen hindurch. BREWSTER giebt Durchmesser der Polarisationsbüschel etwas gröfser an, nämlich 4°, SILBERMANN 5°, was vielleicht damit zusammenhängt, dafs sie in verschiede Augen sehr verschiedene Deutlichkeit zu haben scheinen, und deshalb schwächsten Teile der Figur am äufsersten Rande von einigen wa genommen werden, von anderen nicht. Ich selbst habe unmittelbar n HAIDINGERS Entdeckung mit der gröfsten Mühe nichts von den Büsch wahrnehmen können, und 12 Jahre später, als ich es wieder versucl sah ich sie beim ersten Blick durch ein NICOLsches Prisma. Auch ist meinem linken Auge die Mitte des dunklen Büschels viel dunkler, als rechten. Daran ist vielleicht die veränderliche Färbung des gelben Fle
422 Schuld. Wenn man sie übrigens sieht, so schwinden sie doch immer b wieder, wie jede subjective Erscheinung, die an eine Structur der Netzh gebunden ist. Sie treten dann neu hervor, wenn man den Polarisator 90° dreht.

Individuen, welche die Büschel recht deutlich wahrnehmen, sehen auch in solchem Lichte, welches nur theilweise polarisirt ist, auf glänzen Flächen, am Himmel u. s. w., und sind dadurch im Stande, überall gleich

ichtung der Polarisationsebene zu erkennen. Von den verschiedenen Farben mogenen Lichts zeigt aber, wie STOKES gefunden hat, nur das Blau die larisationsbüschel. In den weniger brechbaren Theilen des Spectrum mmen sie nicht zur Erscheinung. In einem blauen Felde erscheinen die äulichen Hyperbelflächen hell, der gelbe Büschel dazwischen dagegen nkel, so z. B., wenn man durch ein stark gefärbtes blaues Glas und den larisator nach einer weifsen Fläche blickt. Ich selbst sehe die Büschel ht blos nicht in homogenem Grün, Gelb, Roth, sondern auch nicht einmal den gemischten, aber ziemlich gesättigten Abstufungen dieser Farbentöne, lche gefärbte Gläser geben. Es folgt daraus, dafs auch im weifsen Licht Erscheinung von den Veränderungen des Blau herrührt. Am Orte der ben Büschel fehlt das Blau, und diese erscheinen eben deshalb gelb und nkler.

Wenn Licht durch Refraction, Reflexion oder Doppelbrechung polarisirt d, werden stets sämmtliche Farben nahehin gleichmäfsig von der Polariion betroffen. Nur bei der Absorption farbigen Lichts in doppeltbrechenden rpern kann es vorkommen, dafs das Licht gewisser Farben polarisirt wird, Licht anderer Farben dagegen nicht. Das bekannteste Beispiel solcher sorption ist der Turmalin, welcher so häufig als Mittel, Licht zu polarisiren, raucht wird. Es ist diese Eigenschaft übrigens unter den doppeltchenden gefärbten Körpern sehr verbreitet, man kann sie durch Färbung selben künstlich erzeugen, und sie beruht darauf, dafs bald wie im malin der ordentliche, bald wie im Rutil und Zinnstein der aufserordente Strahl stärker absorbirt wird. Nun sind aber die meisten organischen ern und Membranen schwach doppeltbrechend, und zwar verhalten sich de meist wie einaxige Krystalle, deren Axe in den Fasern parallel ihrer ge, in den Membranen senkrecht zu ihrer Fläche steht. Die Erscheinung Polarisationsbüschel ist nun zu erklären, wenn man annimmt, dafs die gefärbten Elemente des gelben Flecks schwach doppeltbrechend sind, und der aufserordentliche Strahl von blauer Farbe in ihnen stärker absorbirt de, als der ordentliche Strahl.

Geht blaues Licht von beliebiger Polarisation durch eine Fasermasse dieser Eigenschaft in Richtung der Fasern, so wird es stark absorbirt; t es dagegen senkrecht gegen die Richtung der Fasern hindurch, so wird tark absorbirt werden, wenn es parallel den Fasern polarisirt ist, schwach egen, wenn seine Polarisationsrichtung ebenfalls senkrecht zur Richtung Fasern ist. Nun verlaufen im gelben Fleck die sogenannten radiären ern von H. MÜLLER, welche an anderen Stellen der Netzhaut senkrecht en deren Fläche stehen, schräg, indem ihr hinteres Ende sich der Netzgrube nähert.[1] In der Centralgrube fehlen die Körnerschichten und die 423
schenkörnerschicht entweder ganz, oder sind wenigstens sehr dünn, da-

[1] BERGMANN in *Henle und Pfeuffer Zeitsch. für rat. Med.* (2) V. 245; (3) II. 83. — MAX SCHULTZE, *ationes de Retinae structura penitiori.* Bonn. 1859. p. 15.

gegen ist die innere Körnerschicht und die Zwischenkörnerschicht in de Umgebung der Netzhautgrube dicker als an anderen Stellen; ähnlich verhä sich die Schicht der Ganglienzellen, obgleich diese auch in der Centralgrub doch noch 3 Reihen Zellen hinter einander enthält, so dafs es scheint, al ob die zu den Zapfen der Centralgrube gehörigen anderen Elemente in de Umgebung dieser Grube angehäuft seien und deshalb die Verbindungsfaser sowohl nervöser als bindegewebiger Natur schräg verlaufen müssen. An de Rande der Netzhautgrube nun, wo die Fasern überwiegend eine schräg gege ihr Centrum verlaufende Richtung haben, würde nach der gemachten An nahme das Licht stärker dort absorbirt werden, wo die Fasern der Polar sationsebene parallel laufen. Ist letztere vertical, so werden also über un unter der Netzhautgrube sich dunklere Stellen bilden, rechts und links helle. Ebenso würden die Stellen dunkler werden müssen, wo die Fasern nicl mehr schräg gegen die Fläche der Netzhaut liegen, also im Centrum de Grube selbst, und nach dem äufseren Rande des gelben Flecks hin. In de That entspricht die Erscheinung der Polarisationsbüschel diesen Folgerunge

Man hat noch andere Ansichten über die Entstehung der Polarisationsbüsch aufgestellt. Unter diesen ist namentlich die von ERLACH angedeutete, von JAMI specieller ausgeführte, ziemlich günstig aufgenommen worden. Beide meinten, die Büsch herleiten zu können von den vielfachen Refractionen, die das Licht an den brechend Flächen des Auges erleidet. In der That würde senkrecht polarisirtes Licht, welch von oben oder unten her in das Auge dringt, stärker reflectirt und weniger ei gelassen werden, als solches, welches von rechts oder links her kommt, und den nach müfste der obere und untere Quadrant des Gesichtsfeldes etwas dunkl erscheinen, als der rechte und linke. Aber wenn Polarisation durch Refraction d Grund wäre, müfsten erstens die Büschel in allen homogenen Farben naheh gleich deutlich erscheinen, während sie dies nur im Blau thun. Zweite müfsten sie nach den Rändern des Gesichtsfeldes hin continuirlich an Stärke zu nehmen. Im Gegentheil sind sie auf einen sehr kleinen centralen Theil beschränk Drittens müfste ihr Centrum im Axenpunkte des Auges liegen, nicht im Fixation punkte, der von jenem, wie es scheint, in allen Augen verschieden ist. Es hab auch schon STOKES, BREWSTER und MAXWELL auf das Ungenügende dieser E klärung aufmerksam gemacht, und die beiden letzteren haben bemerkt, dafs d Ausdehnung der Büschel mit der des gelben Flecks übereinkomme. Allerlei ander aber nicht klar durchgeführte Erklärungen sind auch von HAIDINGER und SILBER MANN gegeben.

HAIDINGER beschreibt im blauen Felde, wo man die LOEWEschen Ring sieht, auch noch helle Andreaskreuzlinien, über die noch keine Beobachtungen vo anderen Augen vorliegen. Ich selbst kann sie nicht sehen.

424 2. **Helle bewegliche Punkte** erscheinen im Gesichtsfelde, wenn man namentlich während angestrengten Gehens oder anderer Leibesbewegung, ein grofse gleichmäfsig erleuchtete Fläche, z. B. den Himmel oder Schneefelde starr ansieht. Die Pünktchen springen an verschiedenen Orten des Gesichts feldes auf und laufen in sehr verschiedenen, meist nicht ganz geraden Bahne ziemlich schnell fort. Dabei erscheinen auf dem Wege, den eines ein geschlagen hat, nach kurzen Zwischenzeiten neue, die auf demselben Weg

tlaufen. PURKINJE bemerkt, dafs, wenn man nach einer begrenzten lichten che, z. B. gegen ein Fenster, schaut, jeder Punkt auf der von der Mitte Sehfeldes abgekehrten Seite ein kleines Schattenbild nach sich zieht. sie feste Wege einzuhalten scheinen, sind sie von manchen Beobachtern MÜLLER) für eine Erscheinung des Blutlaufs gehalten worden. Sie sind er, wenigstens in meinem Auge, viel zu vereinzelt, als dafs man sie für tkörperchen halten könnte, ihre Bahnen ebenfalls viel zu weit von ander entfernt, und ihre Bewegung zu schnell, als dafs ihre Wege einem illarnetz entsprechen könnten. Wenn ihre Erscheinung wirklich mit dem tlauf zusammenhängt, könnte man höchstens daran denken, dafs einzelne lleicht fettreiche Lymphkörperchen, die durch gröfsere Gefäfsstämmchen fliefsen, sich in dieser Art zeigen. Diese Erscheinung scheint übrigens den meisten Menschen leicht gesehen zu werden.

Die Blutkörperchen sind übrigens eben noch grofs genug, um, wenn sie h in der Netzhaut befinden und auf diese einen Eindruck machen, noch annt zu werden. Ihr Durchmesser beträgt im Mittel 0,0072 mm, und die öfse der kleinsten erkennbaren Distanzen ist 0,005 mm (siehe S. 256). Ver-iedene Beobachter haben denn auch Reihen von fortlaufenden Kügelchen 425
l unbestimmtere wallende und fliefsende Bewegungen bei verschiedenen ranlassungen gesehen. Die eigenthümliche Erscheinung in einander ver-lungener Strömungen, welche bei intermittirendem Lichte eintritt und von ERORDT auf den Blutlauf der Aderhaut bezogen wird, ist schon oben vähnt. Ähnliches sieht man übrigens auch zuweilen ohne intermittirendes ht, wenn man in eine helle Fläche hineinstarrt, besonders nachdem man ch Bücken das Blut nach dem Kopf getrieben hat. Sobald durch den Licht-druck die Netzhaut so weit ermüdet ist, dafs die Fläche dunkel wird, cheint gleichsam hinter der hellen Fläche, welche verschwindet, eine leckte röthliche Fläche, deren Flecken bald bewegt, bald ruhig sind. ihen von fliefsenden Kügelchen haben STEINBUCH und PURKINJE,[1] namentlich schwachem Drucke auf das Auge, gesehn. Letzterer sah sie zuerst bei bachtung der dunklen Accommodationsfigur, welche bei ihm aus einem tralen weifsen Kreise, umgeben von einem bräunlichen, unbestimmt be-nzten Hofe, bestand. Rechts und links neben dem weifsen Kreise sah zwei senkrechte lichte Linien, in denen sich Reihen von Kügelchen vegten, rechts abwärts, links aufwärts. Ich habe bis jetzt nichts Ähn-es sehen können. JOHANNES MÜLLER[2] sah bei Congestionen nach dem pfe, oder wenn er sich gebückt hatte und sich plötzlich aufrichtete, ein ingen und Fahren, wie von dunklen geschwänzten Körpern in den mannig-igsten Richtungen, und vergleicht diese Erscheinung mit dem Ameisen-fen in den Gefühlsnerven.

Ein Flimmern wie von kleinen bewegten Körpern sehe ich auch zuweilen

---

[1] PURKINJE, *Beobachtungen und Versuche.* I. 127.
[2] JOHANNES MÜLLER, *Physiologie.* II. 390.

vor einer mit grobem Kalk beworfenen und sehr schief durch ein klei Fenster beleuchteten Wand, die daher mit einer Menge kleiner schwar unregelmäfsiger Punkte übersät erscheint. Aber hier könnten es viellei Nachbilder der Pünktchen sein, welche durch unvermeidliche kle Schwankungen des Auges aufblitzen.

Purkinje beschreibt noch andere Erscheinungen, die bei Aufregung Gefäfssystems oder Anstrengung der Augen eintraten. Seine Beschreib lautet:[1] „Wenn ich bei hellem Tage eine viertel bis halbe Stunde Freien stark gegangen bin, und ich trete plötzlich in einen finsteren o wenigstens stark verdunkelten Raum, so wallt und flackert im Gesichtsfe ein mattes Licht, gleich der auf einer horizontalen Fläche verlöschen Flamme von ausgegossenem Weingeiste, oder gleich einer im Finst schwach flimmernden, mit Phosphor bestrichenen Stelle. Bei schärferer trachtung bemerke ich, dafs der flackernde Nebel aus unzählbaren, äufse kleinen, unregelmäfsig lichten Pünktchen besteht, die sich in verschiede Linien unter einander bewegen, sich bald da, bald dort anhäufen, unbestim begrenzte Flecke bilden, die sich wieder zertheilen, um sich anderwärts versammeln. Jeder Punkt läfst eine lichte Spur seiner Bewegung hinter si welche Spuren, sich mannigfaltig durchschneidend, Netze und Sternchen bild
426 so wimmelt es eine grofse Strecke im Innern des Gesichtsfeldes und hin das deutliche Sehen. Am ähnlichsten dieser Erscheinung ist das Gewim der sogenannten Sonnenstäubchen."

Er sieht dasselbe bei bedecktem rechten Auge, wenn er mit schwach- und fernsichtigen linken eine helle Fläche fixirt, ferner bei allm verstärktem Druck auf das linke Auge. Die Pünktchen erscheinen lebha bei offenem als bei geschlossenem Auge, besonders wenn dasselbe n einer nicht gänzlich verdunkelten entfernten Stelle hinsieht. Das äuf Licht ist also der Erscheinung förderlich.

Pulsirende Kugeln, zwei an der rechten Seite des Gesichtsfeldes, Reihe an der unteren, drei an der linken Seite, erscheinen ihm auf hellen Himmelsfläche, wenn er gelaufen ist, bei Druck auf das Auge bei angestrengtem Husten. Auch pulsirt der Fixationspunkt, und es scheinen noch graue Streifen, theils kreisförmig den Fixationspunkt umgebe theils radiale Gefäfsstreifen.[2]

3. Figuren, die bei gleichmäfsig erleuchteter Netzhaut sicht werden. Purkinje[3] bemerkt, dafs, wenn er nach einer grofsen et blendenden Fläche starr hinsieht (z. B. auf den gleichmäfsig mit Wolken üb zogenen Himmel oder in eine ganz nahestehende Kerzenflamme), in eini Secunden wiederholt in der Mitte des Gesichtsfeldes lichte Punkte aufsprin die, ohne ihre Stelle geändert zu haben, schnell wieder verschwinden schwarze Punkte zurücklassen, die ebenso schnell wieder vergehen. Wen

---

[1] Purkinje, *Beobachtungen und Versuche.* I. 63.
[2] Ebenda I. 134.
[3] Ebenda I. 67.

während die Lichtpunkte hervorspringen, das Auge gegen eine stark verkelte Stelle, oder schlofs er es, so setzte sich die Erscheinung auf che Weise fort, nur in einem gemilderten Lichte, als würden durch das e Hinsehen die Punkte nur entzündet und glimmten dann für sich allein Ich selbst habe ebenfalls häufig solche vereinzelte lichte Punkte, die ıt Nachbilder sein konnten, weil entsprechende kleine helle Gegenstände Gesichtsfelde fehlten, die dunkle Nachbilder hätten zurücklassen können, llig gesehen, aber meist nur einen auf ein Mal, und im Ganzen selten wiederholend.

Hierher gehört ferner PURKINJEs Kreuzspinnengewebefigur,[1] aus lichten röthen Linien auf rothem Grunde gebildet, die das Gewebe einer Kreuzspinne bald acher, bald complicirter nachbildete. Um die Figur gut zu sehen, hatte PURKINJE so gelagert, dafs die Strahlen der aufgehenden Sonne seine Augen- treffen mufsten. Beim Erwachen sah er hinter den geschlossenen Lidern Figur.

Überhaupt ist das Werk von PURKINJE aufserordentlich reich an subjectiven achtungen ähnlicher Art und wird noch lange eine Hauptfundgrube für ähn- Beobachtungen bleiben. Aber viele von den Erscheinungen, die er beschreibt, von anderen Augen noch nicht wieder aufgefunden worden, und für diese ıt es also vorläufig fraglich, ob sie nicht auf individuellen Eigenthümlichkeiten er Organe beruhten.[2]

---

[1] PURKINJE, *Beobachtungen und Versuche* II. 87.

[2] Siehe noch die Erscheinungen in No. XXII des ersten, in No. IV, V, XV des zweiten es seiner *Beobachtungen und Versuche.*

Dritter Abschnitt.

Die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen.

§ 26. Von den Wahrnehmungen im Allgemeinen.

427 Wir benutzen die Empfindungen, welche Licht in unserem Sehnerv apparate erregt, um uns aus ihnen Vorstellungen über die Existenz, Form und die Lage äufserer Objecte zu bilden. Dergleichen Vorstellun nennen wir Gesichtswahrnehmungen. Wir haben in diesem drit Abschnitte der physiologischen Optik auseinanderzusetzen, was sich bis über die Bedingungen, unter denen Gesichtswahrnehmungen zu Sta kommen, auf naturwissenschaftlichem Wege ermitteln liefs.

n Diese Untersuchung tritt nothwendig zum Theil in das Gebiet Psychologie ein, eben weil sie sich mit der Entstehung und dem Bewu werden von Vorstellungen zu beschäftigen hat. Wie schwierig auch eine klare Fragestellung, geschweige denn eine Entscheidung in die Gebiete ist, wo wir hauptsächlich auf Selbstbeobachtung unserer Seel vorgänge angewiesen sind, ist allgemein bekannt. Doch bleibt der physikali physiologischen Untersuchung auch hier ein weites Feld der Arbeit, insof nämlich festgestellt werden mufs und auf naturwissenschaftlichem Wege a festgestellt werden kann, welche besonderen Eigenthümlichkeiten der ph kalischen Erregungsmittel und der physiologischen Erregung Veranlass geben zur Ausbildung dieser oder jener besonderen Vorstellung über Art der wahrgenommenen äufseren Objecte. Wir werden also in dem liegenden Abschnitte zu untersuchen haben, an welche besonderen Eig thümlichkeiten der Netzhautbilder, der Muskelgefühle u. s. w. sich die W nehmung einer bestimmten Lage des gesehenen Objects in Bezug auf Richt und Entfernung anknüpft, von welchen Besonderheiten der Bilder die W nehmung einer nach drei Richtungen ausgedehnten körperlichen Form Objects abhängt, unter welchen Umständen es, mit beiden Augen gese einfach oder doppelt erscheint u. s. w. Unser Zweck ist also hie wesentlich nur das Empfindungsmaterial, welches zur Bildung von Vorstellun Veranlassung giebt, in denjenigen Beziehungen zu untersuchen, welche die daraus hergeleiteten Wahrnehmungen wichtig sind. Dieses Gesc kann ganz nach naturwissenschaftlichen Methoden ausgeführt werden.

rden dabei nicht vermeiden können, auch von psychischen Thätigkeiten und n Gesetzen derselben, so weit sie bei der sinnlichen Wahrnehmung in Betracht mmen, zu sprechen, aber wir werden die Ermittelung und Beschreibung ser psychischen Thätigkeiten nicht als einen wesentlichen Theil unserer rliegenden Arbeit betrachten, weil wir dabei den Boden sicherer That-hen und einer auf allgemein anerkannte und klare Principien gegründeten thode kaum würden festhalten können. So glaube ich wenigstens vor-fig, das Bereich des psychologischen Theils der Physiologie der nne gegen die reine Psychologie abgrenzen zu müssen, deren wesent-he Aufgabe es ist, die Gesetze und Natur der Seelenthätigkeiten, so weit s möglich ist, festzustellen.

Der besondere Charakter dieser Schwierigkeiten, mit denen die Psychologie kämpfen hat, scheint mir zunächst darin zu liegen, dafs die Art und ise, wie wir die Vorgänge in unserem Seelenleben wahrnehmen, gänzlich schieden ist von allen Wahrnehmungen, die sich auf äufsere Objecte iehen, und die Qualitäten der darauf bezüglichen Empfindungen gar keine lichkeit mit denen der äufseren Sinne haben, mit diesen also gar keine der Vergleichung, keine Beziehung der Ähnlichkeit zulassen. Dadurch jede Art von Analogie zwischen beiderlei Klassen von Wahrnehmungen aus-chlossen. Dies Verhältnifs ist durchaus treffend bezeichnet worden, indem 1 die Wahrnehmungen der Seelenzustände, darunter auch die der Thätigkeit bewufsten Denkens und Vorstellens, einem besonderen Sinne zuschrieb, 1 inneren Sinne oder der inneren Anschauung Kants. Wie die pfindungen des Auges, Ohres, Tastgefühles unter einander so gänzlich schieden sind, dafs man zwischen denen verschiedener Sinne gar keine gleichung in Bezug auf Qualität oder Intensität anstellen kann, so verhält sich auch, wenn man Wahrnehmungen von Seelenzuständen mit solchen Auges oder Ohres vergleichen wollte.

Daran schliefst sich noch der weitere Unterschied, dafs die Wahr-mungen der äufseren Sinne sich wenigstens zum grofsen Theil auf gemein-e äufsere Objecte beziehen, die in bestimmter räumlicher Ordnung neben nder liegen, und dafs wir jedenfalls schliefslich durch Erfahrung lernen nen, selbst abgesehen von der Möglichkeit angeborenen Verständnisses solcher ceptionen, wie die gleichen Raumverhältnisse im einen oder anderen Sinne heinen. Dagegen lehren uns die Wahrnehmungen des inneren Sinnes chaus nichts von einer lokalen Verschiedenheit oder einem Ortswechsel Seelenzustände erkennen. Höchstens lassen physiologische Versuche pathologische Erfahrungen und gelegentliche Steigerungen der Gehirn-igkeit zu schmerzhaften Erregungen und Ermüdungen dieses Organs uns nnen, dafs die Seelenthätigkeiten an die normale Leistungsfähigkeit des irns gebunden seien, und dafs dieselben also auch örtlich diesem Organe mmen, während wir den Objecten, die wir durch die äufseren Sinne rnehmen, ihren Ort im äufseren, unseren Kopf umgebenden Raume weisen genöthigt sind.

Jedenfalls erscheinen uns niemals gleichzeitig vorhandene Acte de Bewufstseins, so weit solche etwa sollten vorkommen können, als neber einander an verschiedene Orte gebunden, sondern immer nur als gleichzeitig bestehend oder höchstens als schnell mit einander wechselnd. Diese Un abhängigkeit von allen örtlichen Unterschieden, wenigstens so weit solche wahrgenommen werden können, bildet einen tiefgreifenden Unterschied gege alle Erscheinungen der Körperwelt.

Dagegen ordnen sich in der That auch die Wahrnehmungen des inner Sinnes, ebenso wie die der äufseren Sinne, jede in einen bestimmten Augenblic der Zeitreihe ein. Es geschieht dies durch eine fortdauernde Thätigkei des Gedächtnisses. Wir haben in jedem Augenblick unseres wachen Leben aufser dem Bewufstsein unseres gegenwärtigen Seelenzustandes noch Er innerungen an die nächst vorausgegangenen im Bewufstsein und sind uns auc deutlich der Verschiedenheit dieser beiden Arten von Zuständen, der gegen wärtigen Wahrnehmung und der Erinnerung, bewufst, so dafs wir sie siche unterscheiden. So lange sie uns überhaupt im Gedächtnifs stehen bleiben bleibt auch die Erinnerung an ihre Zeitfolge. Auf diese Weise erhält durc die beschriebene Thätigkeit unseres Gedächtnisses jeder neu eintretend Act unseres Bewufstseins nothwendig von vorn herein seine Stelle in de Zeitreihe nach dem schon Erlebten, vor dem erst noch zu Erlebende angewiesen.

Durch diese Einordnung in die Zeitreihe wird nun auch die Möglichke gegeben, regelmäfsige Wiederholungen solcher Zeitfolgen von gleichartig Wahrnehmungen als solche zu beobachten und wiederzuerkennen. I Allgemeinen werden die Fälle selten sein, wo die Wiederholung der ursprün lichen Wahrnehmung ganz in derselben Weise ein zweites oder drittes M wieder vor sich geht, wie sie das erste Mal erfolgt ist, weil unsere Pe ceptionen, wie wir bald erfahren, durch willkürliche Bewegungen unser Glieder und Änderung der Beobachtungsweise ebenfalls geändert werden, selb wenn der Zustand der Aufsenwelt ungeändert geblieben ist. Ob letzter der Fall ist, davon können wir uns in jedem beliebigen Augenblick durc Rückkehr in die frühere Innervation unserer Muskeln überzeugen. Dadurch wi allerdings die Auffindung der Gesetzmäfsigkeit in der Zeitfolge der v uns beobachteten Ereignisse aufserordentlich viel verwickelter gemacht.

Erst nachdem wir die Änderungen in der Erscheinungsweise der u umgebenden Objecte, die durch unsere willkürlichen Handlungen und B wegungen hervorgerufen werden, und ihre Abhängigkeit von unseren ve schiedenen Willensimpulsen vollständig kennen gelernt haben, können v hoffen, sicher zu erkennen, dafs die genügenden Vorbedingungen für d Eintritt einer bestimmten zu erwartenden Folge gegeben sind, und ander seits den Eintritt oder das Ausbleiben dieser Folge selbst durch die en sprechenden Sinneseindrücke festzustellen.

Die Schwierigkeiten und Verwickelungen dieser Aufgaben kennen v sehr wohl aus allen naturwissenschaftlichen Untersuchungen, wo v

Reelle, zur Zeit Bestehende, herauszulösen haben aus seinen verschiedenen Erscheinungsweisen. Das wichtigste Mittel, diese Aufgabe zu lösen, ist uns gegeben in der Willkürlichkeit unserer Bewegungen, mittels deren wir in jedem uns beliebigen Augenblick bei der Rückkehr in die frühere Beobachtungsweise constatiren können, ob der frühere Eindruck vollständig wiederkehrt, oder ob er geändert ist. Wenn diese Rückkehr in jedem uns beliebigen Augenblick unverändert stattfindet, schliefsen wir auf dauerndes Bestehen eines unveränderten Objects und betrachten die inzwischen durch bestimmte Willensimpulse eingetretenen Veränderungen als Änderungen der Erscheinungsweise, deren Abhängigkeit von den wechselnden Innervationen wir dabei kennen zu lernen Gelegenheit haben.

Alle die hier besprochenen Regelmäfsigkeiten in der Zeitfolge von verschiedenen Vorgängen unseres Bewufstseins können bei hinreichend häufiger und ausnahmsloser Wiederholung gleichartiger Beobachtungen der Verallgemeinerung durch Induction unterliegen und so die Bedeutung allgemeiner Sätze erlangen, die als Grundlage weiterer Schlüsse benutzt werden können.

Um aber zur Überzeugung von der Allgemeingültigkeit solcher inductiv gefundener Sätze gelangen zu können, wird verlangt werden müssen, dafs auch die Wahrnehmungen der betreffenden Vorgänge fein und mannigfaltig genug seien, um an ihnen alle diejenigen Unterschiede des objectiven Bestandes sicher erkennen zu können, welche ihren Einflufs durch Abänderung der Folgezustände geltend zu machen im Stande sind. Wo die Feinheit der Perception dazu nicht ausreicht, würden wir natürlich nicht begreifen können, warum in zwei Fällen, die uns anscheinend vollkommen gleich erscheinen, sich ganz verschiedene Folgen entwickeln. An solchen Fällen würde unser Bestreben, sie auf ein Gesetz zurückzuführen oder sie zu begreifen, scheitern müssen.

Nun sind in der That die beiden Grenzen, an denen die Wahrnehmungen des inneren Sinnes sich an Erregungen des Nervensystems anschliefsen, durch Feinheit, Sicherheit und Reichthum ihres Empfindungsumfanges ausgezeichnet. An der einen Seite haben wir die ungeheuere Mannigfaltigkeit der Empfindungen, die nicht nur in den fünf verschiedenen Sinnen einen fast unübersehbaren Reichthum von Qualitätsunterschieden entwickeln, sondern daneben auch noch die ebenso unabsehbaren Mannigfaltigkeiten der räumlichen Vertheilung der Farben und Helligkeiten im Gesichtsfelde und der Accordverbindungen musikalischer Töne. Indem diese Eindrücke in das Bewufstsein aufgenommen, d. h. percipirt werden, bleibt ihre ganze Mannigfaltigkeit unvermindert bestehen, jedes Bild im Sehfelde bleibt unterscheidbar von jedem anderen. Jede Stelle darin kann unabhängig von jeder anderen Ziel der Aufmerksamkeit werden und mit ihrem früheren Aussehen verglichen werden. Demgemäfs ist auch das Bestreben der physiologischen Optik, die Gesetze zu finden, nach denen die Gesichtswahrnehmungen von den Nervenerregungen abhängen, ein verhältnifsmäfsig sehr erfolgreiches und fruchtbares gewesen.

Ebenso reich und sicher ist andererseits bei einem erwachsenen gesund Menschen die Kenntnifs der Innervationen, die er seinen motorischen Nerv geben mufs, um irgend eine beabsichtigte Stellung seiner Glieder oc Richtung seines Blicks hervorzubringen. Wir werden später sehen, d als Absicht einem solchen Willensimpulse der Regel nach die lebhafte V stellung von derjenigen unmittelbar wahrnehmbaren Veränderung sei Glieder oder Organe zu Grunde liegt, welche er hervorrufen will. Es dies durchaus nicht immer die Kenntnifs der Mittel, die er zu dies Zwecke in Anwendung setzen mufs, nicht einmal immer eine deutliche V stellung der Bewegungen und Stellungen der Körpertheile, welche brauchen mufs. So z. B. beim Kehlkopf, wenn wir singen oder sprecl wollen, beim Auge, wenn wir ein Object betrachten, dafür accommodi wollen, weifs der ununterrichtete Mensch nichts von der Stellung seiner Orga

Ganz anders verhält es sich mit den zwischen diesen beiden äufsers Grenzen des Gebiets liegenden rein seelischen Veränderungen, den V gängen, die wir als Wünsche, Begehren, Absichten, Willensacte bezeichn so wie mit dem Auftauchen und Verschwinden der Vorstellungen, Phantas und Erinnerungen in unserem Gedächtnifs. So weit sie sich auf ein stimmtes vorstellbares Ziel richten, lassen sie sich individuell bezeichr Aber meist sind sie schwankend, veränderlich, unbestimmt und bringen k Mafs für ihre Intensität mit sich, so dafs die Kraft, mit der sie sich geg seitig begünstigen oder hindern, nicht zu bestimmen oder abzuwägen Daher kann auch kaum von einem Verständnifs einer Gesetzmäfsigkeit ihrem Wechsel und der Richtung ihrer Entwickelung die Rede sein.

Nur ein Thema, was hierher gehört, wird uns noch beschäftig nämlich die Thätigkeit des Gedächtnisses; diese ist aber grofsentheils bewufst.

Ich habe vorher erwähnt, welches Gewicht die inductive allgemeinerung unserer Erfahrungen über die willkürlichen Veränderur unserer Beobachtungsweise von Objecten der Aufsenwelt dadurch gewi dafs diese Beobachtungen in jedem uns *beliebigen* Moment erfo können. In der That erscheint uns der Moment beliebig und nur d unseren Willensentschlufs bestimmt. Welche verborgenen Gründe abe diesem Moment den Entschlufs hervorgerufen haben, wissen wir selbst n Darauf kommt es in diesem Falle auch nicht an. Denn selbst, wenn so existirt und den Entschlufs beeinflufst hätten, so wäre der entscheid Anstofs doch immer nur durch Vorgänge unseres Bewufstseins gege worden, so dafs also die Kette der Ursachen durch dieses hindurchgela ist und ein unmittelbar durch innere Anschauung beobachtetes Glied in selben besteht und sie zusammenhält.

Wir kennen in diesem Fall schon den angewandten Willensimpuls ein Ereignifs, welches bestimmte Folgen in der Aufsenwelt erfahrungsge nach sich zieht, und wissen andererseits ebenso erfahrungsgemäfs, dafs, wir den Willensimpuls nicht geben, sondern ihn im Stadium des Wuns

der vorgestellten Absicht beharren lassen, auch die entsprechenden en in der Aufsenwelt ausbleiben.

Wir haben nun noch zu reden von der Art, wie unsere Vorstellungen und rnehmungen durch inductive Schlüsse gebildet werden. Das Wesen unserer isse finde ich am besten auseinandergesetzt in der Logik von STUART MILL. ld der Vordersatz des Schlusses nicht ein Gebot ist, welches durch fremde rität für unser Handeln oder Glauben aufgestellt ist, sondern ein Satz, der auf die Wirklichkeit bezieht und also nur das Resultat der Erfahrung sein , so lehrt uns der Schlufs in der That nichts Neues, was wir nicht schon fst haben, ehe wir ihn machten. Also z. B. 447

Major: Alle Menschen sind sterblich.
Minor: Cajus ist ein Mensch.
Conclusio: Cajus ist sterblich.

Den Major, dafs alle Menschen sterblich sind, welches ein Erfahrungssatz ist, n wir eigentlich nicht aufstellen, ehe wir nicht wissen, ob die Conclusio richtig afs auch Cajus, der ein Mensch ist, gestorben sei oder sterben werde. Wir n also des Schlufssatzes sicher sein, ehe wir noch den Major, durch welchen hn beweisen wollen, aufstellen können. Das scheint freilich ein Herumgehen rkel zu sein. Das wahre Verhältnifs ist offenbar das: Wir und andere Menschen bisher ausnahmslos beobachtet, dafs kein Mensch über ein gewisses Alter s gelebt hat. Die Beobachtenden haben diese Erfahrungen, dafs Lucius, us und wie die einzelnen Menschen sonst hiefsen, von denen sie es wissen, rben sind, in den allgemeinen Satz zusammengefafst, dafs alle Menschen n, und haben sich berechtigt gefühlt, weil dieses Ende in allen den Fällen näfsig eintrat, welche beobachtet worden sind, diesen allgemeinen Satz auch iltig zu erklären für alle diejenigen Fälle, welche noch später zur Beobachtung en würden, und so bewahren wir uns den Schatz von Erfahrungen, den der andere Beobachter in diesem Puncte bisher gemacht haben, in Form des neinen Satzes im Gedächtnisse auf, der den Major des obigen Schlusses bildet.

Es ist aber klar, dafs wir zu der Überzeugung, Cajus werde sterben, auch 448 telbar, ohne in unserem Bewufstsein den allgemeinen Satz zu bilden, hätten en können, indem wir seinen Fall mit allen uns bekannten früheren ver- hätten, und das ist sogar die gewöhnlichere und ursprünglichere Art, durch ion zu schliefsen. Dafs dergleichen Schlüsse ohne bewufste Reflexion ent-, indem in unserem Gedächtnisse das Gleichartige der früher beobachteten sich an einander fügt und sich gegenseitig verstärkt, zeigt sich namentlich in igen Fällen von inductivem Schliefsen, wo es uns nicht gelingt, eine aus- s geltende Regel mit genau bestimmten Grenzen ihrer Gültigkeit aus den igen Erfahrungen zu abstrahiren, wie das der Fall ist bei allen verwickelten Vor-. So können wir z. B. aus der Analogie früherer ähnlicher Fälle zuweilen iemlicher Sicherheit voraussagen, was einer unserer Bekannten thun wird, er unter gewissen Umständen sich zum Handeln entscheiden wird, weil wir Charakter kennen, z. B. als ehrgeizig oder als feig, ohne dafs wir doch genau ben wissen, wonach wir den Grad des Ehrgeizes oder der Feigheit zu messen und warum der vorhandene Grad von Ehrgeiz oder Feigheit ausreichen wird, andeln des Menschen so zu bestimmen, wie es unserer Erwartung nach aus- soll.

ei den eigentlich sogenannten und mit Bewufstsein vollzogenen Schlüssen,

wenn sie sich nicht auf Gebote, sondern auf Erfahrungssätze stützen, thun wir also in der That nichts anderes, als dafs wir mit Überlegung und sorgfältiger Prüfung diejenigen Schritte der inductiven Verallgemeinerung unserer Erfahrungen wiederholen, welche schon vorher in schnellerer Weise ohne bewufste Reflexion ausgeführt waren, entweder von uns selbst, oder von anderen Beobachtern, denen wir vertrauen. Wenn aber auch durch die Formulirung eines allgemeinen Satzes aus unseren bisherigen Erfahrungen nichts wesentlich Neues unserem bisherigen Wissen hinzugefügt wird, so ist dieselbe doch in vieler Beziehung nützlich. Einen bestimmt ausgesprochenen allgemeinen Satz können wir viel leichter im Gedächtnisse aufbewahren und anderen Menschen mittheilen, als wenn dies mit allen einzelnen Fällen geschehen müfste. Wir werden durch seine Aufstellung veranlafst, jeden neu eintretenden Fall gerade in Bezug auf die Richtigkeit jener Verallgemeinerung genau zu prüfen, wobei jede Ausnahme uns doppelt stark auffallen wird; wir werden uns eher an die Beschränkungen der Gültigkeit erinnern, wenn wir den Satz in allgemeiner Form vor uns haben, als wenn wir alle einzelnen Fälle durchlaufen müssen. Es wird also durch eine solche bewufste Formulirung des Inductionsschlusses mancherlei gewonnen für die Bequemlichkeit und Sicherheit des Verfahrens, aber es wird im Wesentlichen nichts Neues hinzugefügt, was nicht schon in den ohne Reflexion ausgeführten Analogieschlüssen bestände, mittelst deren wir z. B. den Charakter eines Menschen aus seinen Gesichtszügen und seinen Bewegungen beurtheilen, oder nach der Kenntnifs seines Charakters voraussagen, was er in einem gegebenen Falle thun wird.

Wir haben nun genau denselben Fall bei unseren Sinneswahrnehmungen. Wenn wir Erregung in denjenigen Nervenapparaten gefühlt haben, deren peripherische Enden an der rechten Seite beider Netzhäute liegen, so haben wir in millionenfach wiederholten Erfahrungen unseres ganzen Lebens gefunden, dafs ein leuchtender Gegenstand nach unserer linken Seite hin vor uns lag. Wir mufsten die Hand nach links hin erheben, um das Licht zu verdecken, oder das leuchtende Object zu ergreifen, oder uns nach links hin bewegen, um uns ihm zu nähern. Wenn also in diesen Fällen kein eigentlicher bewufster Schlufs vorliegt, so ist doch die
449 wesentliche und ursprüngliche Arbeit eines solchen vollzogen und das Resultat desselben erreicht, aber freilich nur durch die unbewufsten Vorgänge der Association von Vorstellungen, die im dunklen Hintergrunde unseres Gedächtnisses vor sich geht und deren Resultate sich daher auch unserem Bewufstsein aufdrängen, als gewonnen durch eine uns zwingende, gleichsam äufsere Macht, über die unser Wille keine Gewalt hat.

Es fehlt an diesen Inductionsschlüssen, die zur Bildung unserer Sinneswahrnehmungen führen, allerdings die reinigende und prüfende Arbeit des bewufsten Denkens; dessen ungeachtet glaube ich, sie doch ihrem eigentlichen Wesen nach als Schlüsse, unbewufst vollführte Inductionsschlüsse, bezeichnen zu dürfen.

Ihrer Aufnahme in das bewufste Denken und ihrer Formulirung in der Normalform logischer Schlüsse widersteht sehr oft noch ein ihnen ganz eigenthümlicher Umstand, nämlich der, dafs wir gar nicht näher bezeichnen können, was in uns vorgegangen ist, wenn wir eine Empfindung in einer bestimmten Nervenfaser hatten und wodurch diese zu unterscheiden ist von entsprechenden Empfindungen in anderen Nervenfasern. Haben wir z. B. eine Lichtempfindung in gewissen Fasern des Sehnervenapparates gehabt, so wissen wir nur, dafs wir eben eine Empfindung eigenthümlicher Art gehabt haben, die sich von allen anderen Sinnesempfindungen

id auch von allen anderen Gesichtsempfindungen unterschieden hat, und bei welcher wir nmer ein lichtes Object nach links hin zu finden pflegten. Wir können im natürchen Zustande, und ehe wir Physiologie studirt haben, von der Empfindung nicht iders sprechen, und die Empfindung selbst für unser eigenes Vorstellen nicht anders egrenzen und nicht festhalten, als indem wir sie bezeichnen durch die Bedingungen, nter denen sie zu Stande gekommen ist. Ich mufs sagen: „ich sehe etwas Helles ich links hin“; das ist der einzige Ausdruck, den ich der Empfindung geben kann. afs wir Nerven haben, dafs diese Nerven erregt worden sind, und zwar Nerven, ie rechts in den Netzhäuten endigen, lernen wir erst spät durch wissenschaftliches udium, und dadurch bekommen wir erst die Mittel, diese Art der Empfindung . definiren, unabhängig von der Art, wie sie gewöhnlich hervorgerufen wird.

Ähnlich verhält es sich bei den meisten Sinnesempfindungen. Die Geschmacksid Geruchsempfindungen wissen wir meistentheils selbst ihrer Qualität nach nicht iders zu bezeichnen, als durch die Benennung derjenigen Körper, welche geschmeckt ler gerochen werden, einige wenige, ziemlich unbestimmte, allgemeinere Beichnungen abgerechnet, wie „süfs“, „sauer“, „bitter“, „scharf“.

Übrigens scheint es, dafs die Farbennamen ursprünglich ähnlich ent- *n* anden sind. Wenigstens erhielt ich von verschiedenen Collegen, die sich mit orachvergleichung beschäftigen, die Auskunft, dafs die Namen für Roth meist if Wurzeln zurückführen, die Brennen und Flamme bezeichnen, wie rubeus, υϑρός, roth, red. Die Namen für Grün weisen meist auf wachsende flanzen hin, viridis, was auf virescere, vis zurückdeutet, englisch: grow, reen, deutsch: grün. Die Namen für Blau weisen auf Himmel und Luft hin ie: coeruleus, das englische blue, wie das deutsche blau auf blow, i. e. blasen. ie Griechen haben *κυάνεος* vom Meere entnommen.

Diese Urtheile, durch welche wir von unseren Sinnesempfindungen auf die *449* kistenz einer äufseren Ursache derselben hinübergehen, können wir also auf dem wöhnlichen Zustande unseres Bewufstseins gar nicht einmal in die Form bewufster rtheile erheben. Das Urtheil, dafs links von mir ein helles Object sei, weil die chts in meiner Netzhaut endenden Nervenfasern sich in Erregungszustand befinden, nn Jemand, der von der inneren Beschaffenheit des Auges nichts weifs, nur so ssprechen: „Links ist etwas Helles, weil ich es dort sehe“. Und demgemäfs nn auch die Erfahrung, dafs, wenn ich das Auge rechts drücke, die dort denden Nervenfasern erregt werden, vom Standpuncte der täglichen Erfahrung gar cht anders ausgesprochen werden, als so: „Wenn ich das Auge rechts drücke, he ich links einen hellen Schein“. Es fehlt jedes Mittel, die Empfindung anders beschreiben und mit andern früher gehabten Empfindungen zu identificiren, als durch, dafs man den Ort des scheinbar entsprechenden äufseren Objects beichnet. Deshalb haben also diese Fälle der Erfahrung das Eigenthümliche, dafs an die Beziehung der Empfindung auf ein äufseres Object gar nicht einmal ausrechen kann, ohne sie schon in der Bezeichnung der Empfindung vorauszuschicken, id ohne das schon vorauszusetzen, von dem man erst noch reden will.

Wir kommen nunmehr zu der viel bestrittenen Frage, welche Art der *n* bereinstimmung zwischen der Vorstellung und ihrem Object rhanden sei, oder welche Art von Wahrheit wir unseren Vorstellungen id Perceptionen zuschreiben dürfen?

Kurz vor dem Beginn des neuen Jahrhunderts hatte KANT die Lehre von den

vor aller Erfahrung gegebenen, oder wie er sie deshalb nannte, „transcend talen“ Formen des Anschauens und Denkens ausgebildet, in welche aller In unseres Vorstellens nothwendig aufgenommen werden muſs, wenn er zur Vorstell werden soll. Für die Qualitäten der Empfindung hatte schon LOCKE den Ant geltend gemacht, den unsere körperliche und geistige Organisation an der Art wie die Dinge uns erscheinen. In dieser Richtung nun haben die Untersuchur über die Physiologie der Sinne, welche namentlich JOHANNES MÜLLER ver ständigte, kritisch sichtete und dann in das Gesetz von den specifiscl Energien der Sinnesnerven zusammenfaſste, die vollste Bestätigung, kann fast sagen, in einem unerwarteten Grade, gegeben und dadurch zugleich Wesen und die Bedeutung einer solchen von vorn herein gegebenen, subject Form des Empfindens in sehr entscheidender und greifbarer Weise zur Anschau gebracht. Dieses Thema ist schon oft besprochen worden; ich kann mich desl hier darüber kurz fassen.

Zwischen den Sinnesempfindungen verschiedener Art kommen zwei verschied Grade des Unterschieds vor, erstens ein tiefer eingreifender zwischen] pfindungen, die verschiedenen Sinnen angehören, wie zwischen blau, süſs, wa hochtönend; ich habe mir erlaubt, diesen als Unterschied in der Modalität Empfindung zu bezeichnen. Er ist so eingreifend, daſs er jeden Übergang einem zum anderen, jedes Verhältniſs gröſserer oder geringerer Ähnlichkeit schlieſst. Ob z. B. süſs dem Blau oder Roth ähnlicher sei, kann man gar n fragen. Die zweite Art des Unterschieds dagegen, die minder eingreifende, die zwischen verschiedenen Empfindungen desselben Sinnes; ich beschränke ihn die Bezeichnung eines Unterschiedes der Qualität. J. G. FICHTE faſst d Qualitäten je eines Sinnes zusammen als Qualitätenkreis und bezeichnet, was eben Unterschied der Modalität nannte, als Unterschied der Qualität kreise. Innerhalb jedes solchen Kreises ist Übergang und Vergleichung mögl Von Blau können wir durch Violett und Karminroth in Scharlachroth überge und z. B. aussagen, daſs Gelb dem Orangeroth ähnlicher sei, als dem Blau. physiologischen Untersuchungen lehren nun, daſs jener tief eingreifende Unterscl ganz und gar nicht abhängt von der Art des äuſseren Eindrucks, durch den Empfindung erregt ist, sondern ganz allein und ausschlieſslich bestimmt wird du den Sinnesnerven, der von dem Eindrucke getroffen worden ist. Erregung Sehnerven erzeugt nur Lichtempfindungen, ob er nun von objectivem Licht, d von Ätherschwingungen, erregt werde oder von elektrischen Strömen, die man du das Auge leitet, oder durch Druck auf den Augapfel, oder durch Zerrung Nervenstammes bei schneller Bewegung des Blicks. Die Empfindung, die bei letzteren Einwirkungen entsteht, ist der des objectiven Lichts so ähnlich, daſs r lange Zeit an eine Lichtentwickelung im Auge geglaubt hatte. J. MÜLLER zei daſs eine solche durchaus nicht stattfinde, daſs eben nur die Empfindung Lichts da sei, weil der Sehnerv erregt werde.

Wie nun einerseits jeder Sinnesnerv, durch die mannigfachsten Einwirkun erregt, immer nur Empfindungen aus dem ihm eigenthümlichen Qualitätenkr giebt: so erzeugen andrerseits dieselben äuſseren Einwirkungen, wenn sie v schiedene Sinnesnerven treffen, die verschiedenartigsten Empfindungen, diese im entnommen aus dem Qualitätenkreise des betreffenden Nerven. Dieselben Äth schwingungen, welche das Auge als Licht fühlt, fühlt die Haut als Wärme. D selben Luftschwingungen, welche die Haut als Schwirren fühlt, fühlt das Ohr

on. Hier ist wiederum die Verschiedenartigkeit des Eindrucks so grofs, dafs die hysiker sich bei der Vorstellung, Agentien, die so verschieden erschienen, wie Licht nd strahlende Wärme, seien gleichartig und zum Theil identisch, erst beruhigten, achdem durch mühsame Experimentaluntersuchungen nach allen Richtungen hin die leichartigkeit ihres physikalischens Verhaltens festgestellt war.

Aber auch innerhalb des Qualitätenkreises jedes einzelnen Sinnes, wo die Art es einwirkenden Objects die Qualität der erzeugten Empfindung wenigstens mit-estimmt, kommen noch die unerwartetsten Incongruenzen vor. Lehrreich ist in ieser Beziehung die Vergleichung von Auge und Ohr, da die Objecte beider, Licht id Schall, schwingende Bewegungen sind, die je nach der Schnelligkeit ihrer chwingungen verschiedene Empfindungen erregen, im Auge verschiedener Farben, ı Ohr verschiedener Tonhöhen. Wenn wir uns zur gröfseren Übersichtlichkeit lauben, die Schwingungsverhältnisse des Lichts mit den Namen der durch ent-rechende Tonschwingungen gebildeten musikalischen Intervalle zu bezeichnen, so giebt sich Folgendes: Das Ohr empfindet etwa 10 Octaven verschiedener Töne, is Auge nur eine Sexte, obgleich die jenseits dieser Grenzen liegenden Schwin-ingen beim Schall wie beim Lichte vorkommen und physikalisch nachgewiesen erden können. Das Auge hat nur drei von einander verschiedene Grund-npfindungen in seiner kurzen Scala, aus denen sich alle seine Qualitäten durch ldition zusammensetzen, nämlich Roth, Grün, Blauviolett. Diese mischen sich in r Empfindung, ohne sich zu stören. Das Ohr dagegen unterscheidet eine un-heure Zahl von Tönen verschiedener Höhe. Kein Accord klingt gleich einem deren Accorde, der aus anderen Tönen zusammengesetzt ist, während doch beim ıge gerade das Analoge der Fall ist. Denn gleich aussehendes Weifs kann rvorgebracht werden durch Roth und Grünblau des Spectrums, durch Gelb und tramarinblau, Grüngelb und Violett, Grün, Roth und Violett, oder durch je zwei, ei oder alle diese Mischungen zusammen. Wären im Ohre die Verhältnisse die eichen, so wären gleichtönend Zusammenklänge, wie: *C* und *F*, *D* und *G*, und *A*, oder *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *A* u. s. w. Und, was in Bezug auf die objective deutung der Farbe bemerkenswerth ist, es hat noch keine einzige physikalische ziehung aufgefunden werden können, in der gleich aussehendes Licht regelmäfsig eichwertig wäre, als allein die Wirkung auf das Auge. Endlich hängt die ganze undlage der musikalischen Wirkung von Consonanz und Dissonanz von dem eigen-imlichen Phänomen der Schwebungen ab. Diese beruhen auf einem schnellen echsel in der Intensität des Tones, welcher dadurch entsteht, dafs zwei nahe ich hohe Töne abwechselnd mit gleichen und entgegengesetzten Phasen zusammen rken und demgemäfs bald starke, bald schwache Schwingungen der mit-ıwingenden Körper erregen. Das physikalische Phänomen würde beim Zusammen-ken zweier Lichtwellenzüge ganz ebenso vorkommen können, wie beim Zusammen-ken zweier Tonwellenzüge. Aber der Nerv mufs erstens fähig sein, von beiden ellenzügen afficirt zu werden, und zweitens mufs er dem Wechsel von starker und ıwacher Intensität schnell genug folgen können. In letzterer Beziehung ist der hörnerv dem Sehnerv erheblich überlegen. Gleichzeitig ist jede Faser des rnerven nur für Töne aus einem engen Intervall der Scala empfindlich, so s nur ganz nahe gelegene Töne in ihr überhaupt zusammen wirken können, weit ı einander entfernte nicht, oder nicht unmittelbar. Wenn sie es thun, so rührt s von begleitenden Obertönen oder Combinationstönen her. Daher tritt beim r dieser Unterschied der schwirrenden und nicht schwirrenden Intervalle, d. h.

von Consonanz und Dissonanz ein. Jede Sehnervenfaser dagegen empfindet du das ganze Spectrum, wenn auch verschieden stark in verschiedenen Theilen. Kön der Sehnerv überhaupt den ungeheuer schnellen Schwebungen der Lichtoscillatior in der Empfindung folgen, so würde jede Mischfarbe als Dissonanz wirken.

Wir sehen, wie alle diese Unterschiede in der Wirkungsweise von Licht u Ton durch die Art, wie der Nervenapparat gegen sie reagirt, bedingt sind.

Unsere Empfindungen sind eben Wirkungen, welche durch äufsere U sachen in unseren Organen hervorgebracht werden, und wie eine solc Wirkung sich äufsert, hängt natürlich ganz wesentlich von der Art c Apparats ab, auf den gewirkt wird. Insofern die Qualität unserer Ei pfindung uns von der Eigenthümlichkeit der äufseren Einwirkung, dur welche sie erregt ist, eine Nachricht giebt, kann sie als ein Zeichen de selben gelten, aber nicht als ein Abbild. Denn vom Bilde verlangt m irgend eine Art der Gleichheit mit dem abgebildeten Gegenstande, von eir Statue Gleichheit der Form, von einer Zeichnung Gleichheit der pe spectivischen Projection im Gesichtsfelde, von einem Gemälde auch nc Gleichheit der Farben. Ein Zeichen aber braucht gar keine Art der Ähnlic keit mit dem zu haben, dessen Zeichen es ist. Die Beziehung zwisch beiden beschränkt sich darauf, dafs das gleiche Object, unter gleichen U ständen zur Einwirkung kommend, das gleiche Zeichen hervorruft, und d also ungleiche Zeichen immer ungleicher Einwirkung entsprechen.

Der populären Meinung gegenüber, welche auf Treue und Glauben (volle Wahrheit der Bilder annimmt, die uns unsere Sinne von den Ding liefern, mag dieser Rest von Ähnlichkeit, den wir anerkennen, sehr gerir fügig erscheinen. In Wahrheit ist er es nicht; denn damit kann noch ei Sache von der allergröfsten Tragweite geleistet werden, nämlich die A bildung der Gesetzmäfsigkeit in den Vorgängen der wirklichen Welt. Jec Naturgesetz sagt aus, dafs auf Vorbedingungen, die in gewisser Beziehu gleich sind, immer Folgen eintreten, die in gewisser anderer Beziehu gleich sind. Da Gleiches in unserer Empfindungswelt durch gleiche Zeich angezeigt wird, so wird der naturgesetzlichen Folge gleicher Wirkungen a gleiche Ursachen auch eine ebenso regelmäfsige Folge im Gebiete unser Empfindungen entsprechen.

Wenn also unsere Sinnesempfindungen in ihrer Qualität auch n Zeichen sind, deren besondere Art ganz von unserer Organisation abhän so sind sie doch nicht als leerer Schein zu verwerfen, sondern sie sind eb Zeichen von Etwas, sei es von etwas Bestehendem oder Geschehende und was das Wichtigste ist, das Gesetz dieses Geschehens können sie u abbilden.

Die Qualitäten der Empfindung also erkennt auch die Physiologie : blofse Form der Anschauung an. Kant aber ging weiter. Nicht nur (Qualitäten der Sinnesempfindungen sprach er als gegeben durch die Eige thümlichkeiten unseres Anschauungsvermögens an, sondern auch Zeit u Raum, da wir nichts in der Aufsenwelt wahrnehmen können, ohne dafs

zu einer bestimmten Zeit geschieht und an einen bestimmten Ort gesetzt wird; die Zeitbestimmung kommt sogar auch jeder innerlichen Wahrnehmung zu. Er bezeichnete deshalb die Zeit als die gegebene und nothwendige, transcendentale Form der inneren, den Raum als die entsprechende der äufseren Anschauung. Auch die räumlichen Bestimmungen also betrachtet KANT für ebensowenig der Welt des Wirklichen, oder „dem Dinge an sich" angehörig, wie die Farben, die wir sehen, den Körpern an sich zukommen, sondern durch unser Auge in sie hineingetragen sind. Selbst hier wird die naturwissenschaftliche Betrachtung bis zu einer gewissen Grenze mitgehen können. Wenn wir nämlich fragen, ob es ein gemeinsames und in unmittelbarer Empfindung wahrnehmbares Kennzeichen giebt, durch welches sich für uns jede auf Gegenstände im Raum bezügliche Wahrnehmung charakterisirt: so finden wir in der That ein solches in dem Umstande, dafs Bewegung unseres Körpers uns in andere räumliche Beziehungen zu den wahrgenommenen Objecten setzt und dadurch auch den Eindruck, den sie auf uns machen, verändert. Der Impuls zur Bewegung aber, den wir durch Innervation unserer motorischen Nerven geben, ist etwas unmittelbar Wahrnehmbares. Dafs wir etwas thun, indem wir einen solchen Impuls geben, fühlen wir. Was wir thun, wissen wir nicht unmittelbar. Dafs wir die motorischen Nerven in Erregungszustand versetzen oder innerviren, dafs deren Reizung auf die Muskeln übergeleitet wird, diese sich in Folge dessen zusammenziehen und die Glieder bewegen, lehrt uns erst die Physiologie. Wiederum aber wissen wir auch ohne wissenschaftliches Studium, welche wahrnehmbare Wirkung jeder verschiedenen Innervation folgt, die wir einzuleiten im Stande sind. Dafs wir dies durch häufig wiederholte Versuche und Beobachtungen lernen, ist in einer grofsen Reihe von Fällen sicher nachweisbar. Wir können noch im erwachsenen Alter lernen, die Innervationen zu finden, die zum Aussprechen der Buchstaben einer fremden Sprache oder für eine besondere Art der Stimmbildung beim Singen nöthig sind; wir können Innervationen lernen, um die Ohren zu bewegen, um mit den Augen einwärts und auswärts zu schielen u. s. w. Die Schwierigkeit in allen diesen Fällen ist nur die, die Innervationen zu finden, die zu solchen bisher nicht ausgeführten Bewegungen nöthig sind. Wir fühlen also, dafs und wann wir Impulse geben, wir unterscheiden gleiche und ungleiche Impulse und lernen aus Erfahrung die wahrnehmbare Wirkung kennen, welche die einzelnen verschiedenen hervorbringen, aber ohne von den vermittelnden Zwischengliedern etwas zu wissen.

Wenn wir nun Impulse solcher Art geben (den Blick wenden, die Hände bewegen, hin und hergehen), so finden wir, dafs dadurch die gewissen Qualitätenkreisen angehörigen Empfindungen (nämlich die auf räumliche Objecte bezüglichen) geändert werden können; andere psychische Zustände, deren wir uns bewufst sind, Erinnerungen, Absichten, Wünsche, Stimmungen durchaus nicht. Dadurch ist in unmittelbarer Wahrnehmung ein durchgreifender Unterschied zwischen den ersteren und letzteren gesetzt. Wenn

wir also dasjenige Verhältnifs, welches wir durch unsere Willensimpulse unmittelbar ändern, dessen Art uns übrigens noch ganz unbekannt sein könnte, ein räumliches nennen wollen, so treten die Wahrnehmungen psychischer Thätigkeiten gar nicht in ein solches ein; wohl aber müssen alle Empfindungen der äufseren Sinne unter irgend welcher Art der Innervation vor sich gehen, d. h. räumlich bestimmt sein. Demnach wird uns der Raum auch sinnlich erscheinen, behaftet mit den Qualitäten unserer Bewegungsempfindungen, als das, durch welches hin wir uns bewegen, durch welches hin wir blicken können. Die Raumanschauung würde also in diesem Sinne eine subjective Anschauungsform sein, wie die Empfindungsqualitäten Roth, Süfs, Kalt. Natürlich würde dies für jene ebenso wenig wie für diese den Sinn haben, dafs die Ortsbestimmung eines bestimmten einzelnen Gegenstandes ein blofser Schein sei.

Als die nothwendige Form der äufseren Anschauung aber würde der Raum von diesem Standpunkte aus erscheinen, weil wir eben das, was wir als räumlich bestimmt wahrnehmen, als Aufsenwelt zusammenfassen. Dasjenige, an dem keine Raumbeziehung wahrzunehmen ist, begreifen wir als die Welt der inneren Anschauung, als die Welt des Selbstbewufstseins.

Und eine gegebene, vor aller Erfahrung mitgebrachte Form der Anschauung würde der Raum sein, insofern seine Wahrnehmung an die Möglichkeit motorischer Willensimpulse geknüpft wäre, für die uns die geistige und körperliche Fähigkeit durch unsere Organisation gegeben sein mufs, ehe wir Raumanschauung haben können.

444 Was zunächst die Eigenschaften der Objecte der Aufsenwelt betrifft, so zeigt eine leichte Überlegung, dafs alle Eigenschaften, die wir ihnen zuschreiben können, nur Wirkungen bezeichnen, welche sie entweder auf unsere Sinne oder auf andere Naturobjecte ausüben. Farbe, Klang, Geschmack, Geruch, Temperatur, Glätte, Festigkeit gehören der ersteren Klasse an, sie bezeichnen Wirkungen auf unsere Sinnesorgane. Glätte und Festigkeit bezeichnen den Grad des Widerstandes, den die berührten Körper entweder der gleitenden Berührung oder dem Drucke der Hand darbieten. Statt der Hand können aber auch andere Naturkörper eintreten, ebenso für die Prüfung anderer mechanischer Eigenschaften, der Elasticität und Schwere. Die chemischen Eigenschaften beziehen sich ebenfalls auf Reactionen, d. h. Wirkungen, welche der betrachtete Naturkörper auf andere ausübt. Ebenso ist es mit den anderen physikalischen Eigenschaften der Körper, den optischen, elektrischen, magnetischen. Überall haben wir es mit Wechselbeziehungen verschiedener Körper auf einander zu thun, mit Wirkungen auf einander, welche von den Kräften abhängen, die verschiedene Körper auf einander ausüben. Denn alle Naturkräfte sind Kräfte, welche ein Körper auf den anderen ausübt. Wenn wir uns die blofse Materie ohne Kräfte denken, so ist sie auch ohne Eigenschaften, abgesehen von ihrer verschiedenen Vertheilung im Raume und ihrer Bewegung. Alle Eigenschaften der Naturkörper kommen deshalb auch erst zu Tage, wenn wir sie in die entsprechende Wechselwirkung mit anderen Naturkörpern oder mit unseren Sinnesorganen setzen. Da aber solche Wechselwirkung in jedem Augenblicke eintreten kann, beziehlich auch durch unseren Willen in einem beliebigen Augenblicke herbeigeführt werden kann, und wir dann immer die eigenthümliche Art der Wechsel-

wirkung eintreten sehen, so schreiben wir den Objecten eine dauernde und stets zur Wirksamkeit bereite Fähigkeit zu solchen Wirkungen zu. Diese dauernde Fähigkeit nennen wir Eigenschaft.

Daraus geht nun hervor, dafs in Wahrheit die Eigenschaften der Naturobjecte trotz dieses Namens gar nichts dem einzelnen Objecte an und für sich Eigenes bezeichnen, sondern immer eine Beziehung zu einem zweiten Objecte (einschliefslich unserer Sinnesorgane) bezeichnen. Die Art der Wirkung mufs natürlich immer von den Eigenthümlichkeiten sowohl des wirkenden Körpers abhängen, als von denen des Körpers, auf welchen gewirkt wird. Darüber sind wir auch keinen Augenblick in Zweifel, wenn wir von solchen Eigenschaften der Körper reden, welche sich zeigen, wenn der eine auf einen anderen, ebenfalls der Aufsenwelt angehörigen Körper wirkt, z. B. bei den chemischen Reactionen. Bei den Eigenschaften dagegen, welche auf Wechselbeziehungen der Dinge zu unseren Sinnesorganen beruhen, sind die Menschen von jeher geneigt gewesen, es zu vergessen, dafs wir es auch hier mit der Reaction gegen ein besonderes Reagens, nämlich unserem Nervenapparat zu thun haben, und dafs auch Farbe, Geruch und Geschmack, Gefühl der Wärme und Kälte Wirkungen sind, die ganz wesentlich von der Art des Organs, auf welches gewirkt wird, abhängen. Allerdings sind die Reactionen der Naturobjecte auf unsere Sinne die am häufigsten und am allgemeinsten wahrgenommenen, sie haben für unser Wohlsein und für unsere Behaglichkeit die überwiegendste Wichtigkeit; das Reagens, an welchem wir sie zu erproben haben, ist uns von Natur mitgegeben, aber dadurch wird das Verhältnifs nicht anders.

Die Frage zu stellen, ob der Zinnober wirklich roth sei, wie wir ihn sehen, *445*
oder ob dies nur eine sinnliche Täuschung sei, ist deshalb sinnlos. Die Empfindung von Roth ist die normale Reaction normal gebildeter Augen für das von Zinnober reflectirte Licht. Ein Rothblinder wird den Zinnober schwarz oder dunkelgraugelb sehen; auch dies ist die richtige Reaction für sein besonders geartetes Auge. Er mufs nur wissen, dafs sein Auge eben anders geartet ist, als das anderer Menschen. An sich ist die eine Empfindung nicht richtiger und nicht falscher als die andere, wenn auch die Rothsehenden eine grofse Majorität für sich haben. Überhaupt existirt die rothe Farbe des Zinnobers nur, insofern es Augen giebt, die denen der Majorität der Menschen ähnlich beschaffen sind. Genau mit demselben Rechte ist es eine Eigenschaft des Zinnobers, schwarz zu sein, nämlich für die Rothblinden. Überhaupt ist das vom Zinnober zurückgeworfene Licht an sich durchaus nicht roth zu nennen, es ist nur für bestimmte Arten von Augen roth. Wenn wir von Eigenschaften der Körper sprechen, die sie in Bezug auf andere Körper der Aufsenwelt haben, vergessen wir nicht in der Sprache auch den Körper zu bezeichnen, in Bezug auf welchen die Eigenschaft vorhanden ist. Wir sagen: „Blei ist löslich in Salpetersäure, es ist nicht löslich in Schwefelsäure“. Wenn wir blos sagen wollten: „Blei ist löslich“, so würden wir sogleich bemerken, dafs dies eine unvollständige Behauptung ist, und würden sogleich fragen müssen, worin es löslich sei. Wenn wir aber sagen, „Zinnober ist roth“, so versteht es sich implicite von selbst, dafs er für unsere Augen roth ist, und für die Augen anderer Menschen, welche wir als gleich beschaffen voraussetzen. Wir glauben, das nicht erwähnen zu brauchen, und deshalb vergessen wir es auch wohl und können verleitet werden, zu glauben, die Röthe sei eine dem Zinnober oder dem von ihm reflectirten Lichte, ganz unabhängig von unseren Sinnesorganen zukommende Eigenschaft. Etwas anderes ist es, wenn wir behaupten, dafs die Wellenlängen des

vom Zinnober zurückgeworfenen Lichtes eine gewisse Länge haben. Das ist eine Aussage, die wir unabhängig von der besonderen Natur unseres Auges machen können, bei der es sich dann aber auch nur um Beziehungen zwischen der Substanz und den verschiedenen Ätherwellensystemen handelt.

n Übrigens halte ich die Meinung vieler modernen Kantianer, dafs eben deshalb das „Ding an sich" nur ein transcendentaler Schein sei, für eine Kant nur untergeschobene Meinung. Darüber kann nach seinen Sätzen ja kein Zweifel bleiben, dafs wir die Aufsenwelt nur durch eine Zeichensprache kennen, und dafs unsere Bilder von den Dingen in unserer Vorstellung nicht ihren Objecten gleich sind. Aber das Verhältnifs, wie eine transcendentale Form die Anschauung der Gegenstände verändern kann, ist an dem Beispiel der Qualitäten unserer Sinnesempfindungen sehr gut zu erläutern. Das Auge kann Alles, was es wahrnimmt, nur in der Form von Licht- und Farbenempfindungen wahrnehmen. Dafs es Alles nur in dieser Weise sieht, beruht in seiner ihm von Anfang an gegebenen Structur und ist ganz unabhängig von den Objecten, die es sieht. Aber dafs es an einer Stelle des Sehfeldes Dunkel sieht, an einer zweiten Hell, hier Roth, dort Gelb, und dafs diese Eindrücke mit der Zeit wechseln, das hängt sicherlich nicht blos von seiner angeborenen Anschauungsform ab, sondern von unabhängigen Ursachen, die auf das Organ einwirken, und von denen wir Näheres nur erfahren können, indem wir die Gesetze ihrer Einwirkung studiren.

Aber genau dieselbe Betrachtung läfst sich auch auf die Denkform der Causalität anwenden. Was wir zu begreifen streben, können wir nur nach dieser Form begreifen, indem wir Gesetze der Veränderungen suchen. Das Auge kann nichts sehen, was ihm nicht als Licht und Farbe erscheint; ebenso kann der Geist nichts begreifen, in dem er kein Gesetz findet. Daraus folgt aber offenbar nicht, dafs es ein leerer und trügerischer Schein sei, wenn für bestimmte Vorgänge unter bestimmten Bedingungen sich das entsprechende Gesetz finden läfst.

Wir nennen unsere Vorstellungen von der Aufsenwelt *wahr*, wenn sie uns genügende Anweisung über die Folgen unserer Handlungen der Aufsenwelt gegenüber geben und uns richtige Schlüsse über die zu erwartenden Veränderungen derselben ziehen lassen. Diese Art der Wahrheit kommt den richtig gebildeten Vorstellungen eines erwachsenen gesunden Menschen bis auf seltene Ausnahmsfälle jedenfalls zu. Nur solche synthetische Urtheile, die durch mögliche Beobachtung jetzt oder künftig bestätigt werden können, sei es in innerer oder äufserer Anschauung, haben auf diese Bezeichnung Anspruch. Rein analytische Urtheile, die nur die in der Definition des Objectes enthaltenen Merkmale diesem beilegen, würde ich nur als *richtig*, nicht als *wahr* bezeichnen. Sie sagen nichts über die Wirklichkeit aus.

Diese Art der Wahrheit, welche durch zweckmäfsig ausgeführte Handlungen und die dabei gemachten Beobachtungen bestätigt werden kann, kommt der überwiegenden Mehrzahl der menschlichen Wahrnehmungen offenbar zu. Von einer anderen wissen wir jedenfalls nichts, und nach einer anderen

zu suchen, wäre meines Erachtens ein Streben ohne Sinn, nach einem Zweck gerichtet, dessen Begriff sich selbst widerspricht.

Höchstens bei einigen Arten von Wahrnehmungen durch den inneren Sinn könnte die Frage aufgeworfen worden, ob das Bild des Objects nicht dem Object gleichen könne, z. B. die Erinnerung an eine bei besonderer Veranlassung früher aufgetauchte Erinnerung würde meistens gleichzeitig eine Erneuerung dieser Erinnerung sein und als gleichartig ihrem Object betrachtet werden können. Dagegen schon die Erinnerung an einen früher gehegten Wunsch, eine Absicht oder an einen einst gefafsten Entschlufs ist nicht nothwendig gleichzeitig eine Erneuerung des Wunsches, der Absicht, des Entschlusses. Solche Erinnerungen sind also auch nicht nothwendig genaue Abbilder ihrer Originale, wenn sie auch in unserem Bewufstsein als solche gelten. Noch weniger gilt dies für die Wahrnehmungen durch die äufseren Sinne. Denn diesen gegenüber beruht die Sicherheit, mit der wir die Wirklichkeit als solche erkennen, wesentlich darauf, dafs in solchem Falle unsere Vorstellung von den entsprechenden sinnlichen Empfindungseindrücken begleitet sein mufs, welche der Erinnerung derselben nothwendig fehlen, und in der Beziehung finden wir in unserem Bewufstsein fast immer eine feste Entscheidung sogar für jeden einzelnen Theil des Bildes, wenn es uns nur gelingt, die Aufmerksamkeit auf ihn zu richten.

Unsere Aufgabe, die Entstehung der Gesichtswahrnehmungen zu begreifen, beschränkt sich also zunächst darauf, zu begreifen, wie die Übereinstimmung zwischen unseren Wahrnehmungen und der richtigen Voraussicht ihrer durch Willensimpulse herzustellenden Veränderungen zu gewinnen sei.

Was wir unzweideutig und als Thatsache ohne hypothetische Unterschiebung finden können, ist das Gesetzliche in der Erscheinung. Von dem ersten Schritt an, wo wir vor uns weilende Objecte im Raume vertheilt wahrnehmen, ist diese Wahrnehmung das Anerkennen einer gesetzlichen Verbindung zwischen unseren Bewegungen und den dabei auftretenden Empfindungen. Schon diese ersten elementaren Vorstellungen enthalten in sich ein Denken und gehen nach den Gesetzen des Denkens vor sich. Alles, was in der Anschauung zu dem rohen Materiale der Empfindungen hinzukommt, kann in Denken aufgelöst werden.

Wenn nun „begreifen“ heifst: Begriffe bilden, und wir im Begriff einer Klasse von Objecten zusammensuchen und zusammenfassen, was sie von gleichen Merkmalen an sich tragen: so ergiebt sich ganz analog, dafs der Begriff einer in der Zeit wechselnden Reihe von Erscheinungen das zusammenzufassen suchen mufs, was in allen ihren Stadien gleich bleibt. Wir nennen, was ohne Abhängigkeit von Anderem gleich bleibt in allem Wechsel der Zeit: die Substanz; wir nennen das gleichbleibende Verhältnifs zwischen veränderlichen Gröfsen: das sie verbindende Gesetz. Was wir direct wahrnehmen, ist nur das Letztere. Der Begriff der Substanz kann nur durch erschöpfende Prüfung gewonnen werden und bleibt immer problematisch, insofern weitere Prüfung vorbehalten wird. Früher galten Licht und Wärme

als Substanzen, bis sich später herausstellte, dafs sie vergängliche Bewegungsformen seien, und wir müssen immer noch auf neue Zerlegungen der jetzt bekannten chemischen Elemente gefafst sein. Das erste Product des denkenden Begreifens der Erscheinung ist das Gesetzliche. Haben wir es so weit rein ausgeschieden, seine Bedingungen so vollständig und sicher abgegrenzt und zugleich so allgemein gefafst, dafs für alle möglicher Weise eintretenden Fälle der Erfolg eindeutig bestimmt ist, und wir gleichzeitig die Überzeugung gewinnen, es habe sich bewährt und werde sich bewähren in aller Zeit und in allen Fällen: dann erkennen wir es als ein unabhängig von unserem Vorstellen Bestehendes an und nennen es die Ursache, d. h. das hinter dem Wechsel ursprünglich Bleibende und Bestehende; nur in diesem Sinne ist meiner Meinung nach die Anwendung des Worts gerechtfertigt, wenn auch der gemeine Sprachgebrauch es in sehr verwaschener Weise überhaupt für Antecedens oder Veranlassung anwendet. Insofern wir dann das Gesetz als ein unsere Wahrnehmung und den Ablauf der Naturprocesse Zwingendes, als eine unserem Willen gleichwerthige Macht anerkennen, nennen wir es „Kraft". Dieser Begriff der uns entgegentretenden Macht ist unmittelbar durch die Art und Weise bedingt, wie unsere einfachsten Wahrnehmungen zu Stande kommen. Von Anfang an scheiden sich die Änderungen, die wir selbst durch unsere Willensacte machen, von solchen, die durch unseren Willen nicht gemacht, durch unseren Willen nicht zu beseitigen sind. Er ist namentlich der Schmerz, der uns von der Macht der Wirklichkeit die eindringlichste Lehre giebt. Der Nachdruck fällt hierbei auf die Beobachtungsthatsache, dafs der Kreis der uns zur Zeit wahrnehmbaren Gegenstände nicht durch einen bewufsten Act unseres Vorstellens oder Willens gesetzt ist. FICHTES „Nicht-Ich" ist hier der genau zutreffende negative Ausdruck. Auch dem Träumer erscheint, was er zu sehen und zu fühlen glaubt, nicht durch seinen Willen oder durch die bewufste Verkettung seiner Vorstellungen hervorgerufen zu sein, wenn auch unbewufst das letztere in Wirklichkeit oft genug der Fall sein möchte; auch ihm ist es ein Nicht-Ich. Ebenso dem Idealisten, der es als die Vorstellungswelt des Weltgeistes ansieht.

Wir haben in unserer Sprache eine sehr glückliche Bezeichnung für dieses, was hinter dem Wechsel der Erscheinungen stehend auf uns einwirkt, nämlich „das Wirkliche". Hierin ist nur das Wirken ausgesagt; es fehlt die Nebenbeziehung auf das Bestehen als Substanz, welche der Begriff des Reellen, d. h. des Sachlichen einschliefst. In den Begriff des Objectiven andererseits schiebt sich meist der Begriff des fertigen Bildes eines Gegenstandes ein, welcher nicht auf die ursprünglichsten Wahrnehmungen pafst. Auch bei dem folgerichtig Träumenden müfsten wir diejenigen seelischen Zustände oder Motive, welche ihm die dem gegenwärtigen Stande seiner erträumten Welt gesetzmäfsig entsprechenden Empfindungen zur Zeit unterschieben, als wirksam und wirklich bezeichnen. Andererseits ist klar, dafs eine Scheidung von Gedachtem und Wirklichem erst möglich wird, wenn wir

die Scheidung dessen, was das Ich ändern und nicht ändern kann, zu vollführen wissen. Diese wird aber erst möglich, wenn wir erkennen, welche gesetzmäfsigen Folgen die Willensimpulse zur Zeit haben. Das Gesetzmäfsige ist daher die wesentliche Voraussetzung für den Charakter des Wirklichen.

Dafs es eine Contradictio in adjecto sei, das Reelle oder Kants „Ding an sich“ in positiven Bestimmungen vorstellen zu wollen, ohne es doch in die Form unseres Vorstellens aufzunehmen, brauche ich wohl nicht auseinanderzusetzen. Das ist oft besprochen. Was wir aber erreichen können, ist die Kenntnifs der gesetzlichen Ordnung im Reiche des Wirklichen, diese freilich nur dargestellt in dem Zeichensystem unserer Sinneseindrücke.

Dafs unser Denken und Wahrnehmen in Bezug auf Erkenntnifs des Wirklichen mehr als dieses Ziel erreiche, mufs ich verneinen. Aber, wie ich schon bemerkt habe, schliefse ich auch die Vorgänge, von denen uns unsere innere Anschauung berichtet, unter den Begriff der wirklichen Vorgänge ein.

Die besondere Art der ursächlichen Verbindung freilich, die wir zur Erklärung der einzelnen aufgefundenen Fälle von Gesetzmäfsigkeit in der Zeitfolge der Wahrnehmungen anzunehmen haben, wird immer nur in hypothetischer Weise gefunden werden können.

Jede richtig gebildete Hypothese stellt ihrem thatsächlichen Sinne nach ein allgemeineres Gesetz der Erscheinungen hin, als wir bisher unmittelbar beobachtet haben; sie ist ein Versuch, zu immer allgemeinerer und umfassenderer Gesetzlichkeit aufzuteigen. Was sie an Thatsachen Neues behauptet, mufs durch Beobachtung und Versuch geprüft und bestätigt werden. Hypothesen, die einen solchen thatsächlichen Sinn nicht haben, oder überhaupt nicht sichere und eindeutige Bestimmungen für die unter sie fallenden Thatsachen geben, sind nur als werthlose Phrasen zu betrachten.

Jede Zurückführung der Erscheinungen auf die zu Grunde liegenden Substanzen und Kräfte behauptet etwas Unveränderliches und Abschliefsendes gefunden zu haben. Zu einer unbedingten Behauptung dieser Art sind wir nie berechtigt; das erlaubt weder die Lückenhaftigkeit unseres Wissens, noch die Natur der Inductionsschlüsse, auf denen all unsere Wahrnehmung des Wirklichen vom ersten Schritte an beruht.

Jeder Inductionsschlufs stützt sich auf das Vertrauen, dafs ein bisher beobachtetes gesetzliches Verhalten sich auch in allen noch nicht zur Beobachtung gekommenen Fällen bewähren werde. Es ist dies ein Vertrauen auf die Gesetzmäfsigkeit alles Geschehens. Die Gesetzmäfsigkeit aber ist die Bedingung der Begreifbarkeit. Vertrauen in die Gesetzmäfsigkeit ist also zugleich Vertrauen auf die Begreifbarkeit der Naturerscheinungen. Setzen wir aber voraus, dafs das Begreifen zu vollenden sein wird, dafs wir ein letztes Unveränderliches als Ursache der beobachteten Veränderungen werden hinstellen können, so nennen wir das regulative Princip unseres Denkens, was uns dazu treibt, das Causalgesetz. Wir können sagen, es

spricht das Vertrauen auf die vollkommene Begreifbarkeit der Welt aus. Das Begreifen, in dem Sinne, wie ich es beschrieben habe, ist die Methode, mittels deren unser Denken die Welt sich unterwirft, die Thatsachen ordnet, die Zukunft voraus bestimmt. Es ist sein Recht und seine Pflicht, die Anwendung dieser Methode auf alles Vorkommende auszudehnen, und wirklich hat es auf diesem Wege schon grofse Ergebnisse geerntet. Für die Anwendbarkeit des Causaulgesetzes haben wir aber keine weitere Bürgschaft, als seinen Erfolg. Wir könnten in einer Welt leben, in der jedes Atom von jedem anderen verschieden wäre, und wo es nichts Ruhendes gäbe. Da würde keinerlei Regelmäfsigkeit zu finden sein, und unsere Denkthätigkeit müfste ruhen.

Das Causalgesetz ist wirklich ein a priori gegebenes, ein transcendentales Gesetz. Ein Beweis desselben aus der Erfahrung ist nicht möglich; denn die ersten Schritte der Erfahrung sind nicht möglich, wie wir gesehen haben, ohne die Anwendung von Inductionsschlüssen, d. h. ohne das Causalgesetz; und aus der vollendeten Erfahrung, wenn sie auch lehrte, dafs alles bisher Beobachtete gesetzmäfsig verlaufen ist, — was zu versichern wir doch lange noch nicht berechtigt sind, — würde immer nur erst durch einen Inductionsschlufs, d. h. unter Voraussetzung des Causalgesetzes, folgen können, dafs nun auch in Zukunft das Causalgesetz giltig sein werde. Hier gilt nur der eine Rath: Vertraue und handle!

Das Unzulängliche
Dann wird's Ereignifs.

Ja ich kann nicht umhin, selbst den extremsten subjectiven Idealismus als eine mögliche und in sich consequente Form einer solchen Hypothese anzuerkennen, zu deren Widerlegung ich keinen entscheidenden Grund sehe, so unwahrscheinlich sie auch sein mag. Ich habe oben bemerkt, wie wichtig es erscheint, dafs wir nach Aussage unseres Bewufstseins wenigstens ein Glied von der Kette der Ursachen, die zur Wahrnehmung führen, unseren Willensimpuls, aus innerer Anschauung kennen und wissen, durch welche Motive er zu Stande gekommen ist. Von ihm aus beginnt dann, als von einem uns bekannten Anfangsglied und zu einem bekannten Zeitpunkt, die Kette der physischen Ursachen zu wirken, die in den Erfolg des Versuches ausläuft. Aber eine wesentliche Voraussetzung für die zu gewinnende Überzeugung ist die, dafs unser Willensimpuls weder selbst schon durch physische Ursachen, die gleichzeitig auch den physischen Procefs bestimmten, mit beeinflufst worden sei, noch seinerseits die darauf folgenden Wahrnehmungen beeinflufst habe.

Der letzte Zweifel kann namentlich bei unserem Thema in Betracht kommen. Der Willensimpuls für eine bestimmte Bewegung ist ein psychischer Act, die darauf wahrgenommene Änderung der Empfindung gleichfalls. Kann nun nicht der erste Act den zweiten durch rein psychische Vermittelungen zu Stande bringen? Unmöglich ist es nicht. Wenn wir träumen, geschieht so etwas. Wir glauben träumend eine Bewegung zu vollführen, und wir träumen dann weiter, dafs dasjenige geschieht, was davon die natürliche Folge sein sollte. Wir träumen, in einen Kahn zu steigen, ihn vom Land abzustofsen, auf das Wasser hinaus zu gleiten, die umringenden Gegenstände sich verschieben zu sehen u. s. w. Hierbei scheint die Erwartung des Träumenden, dafs er die Folgen seiner Handlungen eintreten sehen

erde, die geträumte Wahrnehmung auf rein psychischem Wege herbeizuführen. Wer eiſs zu sagen, wie lang und fein ausgesponnen, wie folgerichtig durchgeführt ein olcher Traum werden könnte. Wenn alles darin im höchsten Grade gesetzmäſsig er Naturordnung folgend geschähe, so würde kein anderer Unterschied vom Wachen estehen, als die Möglichkeit des Erwachens, das Abreiſsen dieser geträumten Reihe on Anschauungen.

Ich sehe nicht, wie man ein System selbst des extremsten subjectiven Idealismus iderlegen könnte, welches das Leben als Traum betrachten wollte. Man könnte s für so unwahrscheinlich, so unbefriedigend wie möglich erklären — ich würde n dieser Beziehung den härtesten Ausdrücken der Verwerfung zustimmen — aber onsequent durchführbar wäre es; und es scheint mir sehr wichtig, dies im Auge u behalten.

Auch FICHTE nimmt an, daſs sich das Ich das Nicht-Ich, d. h. die erscheinende Velt, selbst setzt, weil es ihrer zur Entwickelung seiner Denkthätigkeit bedarf. ein Idealismus unterscheidet sich aber doch von dem eben bezeichneten dadurch, aſs er die anderen menschlichen Individuen nicht als Traumbilder, sondern auf die ussage des Sittengesetses hin als dem eigenen Ich gleiche Wesen faſst. Da aber re Bilder, in denen sie das Nicht-Ich vorstellen, wieder alle zusammen stimmen üssen, so faſst er die individuellen Ichs alle als Theile oder Ausflüsse des bsoluten Ich. Dann war die Welt, in der jene sich fanden, die Vorstellungswelt, elche der Weltgeist sich setzte, und konnte wieder den Begriff der Realität anehmen, wie es bei HEGEL geschah.

Die realistische Hypothese dagegen traut der Aussage der gewöhnlichen elbstbeobachtung, wonach die einer Handlung folgenden Veränderungen der Wahrehmung gar keinen psychischen Zusammenhang mit dem vorausgegangenen Willensnpuls haben. Sie sieht als unabhängig von unserem Vorstellen bestehend an, was ch in täglicher Wahrnehmung so zu bewähren scheint, die materielle Welt auſser ns. Unzweifelhaft ist die realistische Hypothese die einfachste, die wir bilden önnen, geprüft und bestätigt in auſserordentlich weiten Kreisen der Anwendung, charf definirt in allen Einzelbestimmungen und deshalb auſserordentlich brauchbar nd fruchtbar als Grundlage für das Handeln. Das Gesetzliche in unseren Empfinungen würden wir sogar in idealistischer Anschauungsweise kaum anders ausısprechen wissen, als indem wir sagen: „Die mit dem Charakter der Wahrnehmung uftretenden Bewuſstseinsacte verlaufen so, als ob die von der realistischen Hypoiese angenommene Welt der stofflichen Dinge wirklich bestände“. Aber über ieses „als ob“ kommen wir nicht hinweg; für mehr als eine ausgezeichnet brauchare und zuverlässige Hypothese können wir die realistische Meinung nicht nerkennen; nothwendige Wahrheit dürfen wir ihr nicht zuschreiben, da neben ihr och andere unwiderlegbare idealistische Hypothesen möglich sind.

Es ist gut, dies immer vor Augen zu halten, um nicht mehr aus den Thatıchen folgern zu wollen, als in der That daraus zu folgern ist. Die verschiedenen bstufungen der idealistischen und realistischen Meinungen sind metaphysische ypothesen, welche, so lange sie als solche anerkannt werden, ihre vollkommene issenschaftliche Berechtigung haben, so schädlich sie auch werden mögen, so bald an sie als Dogmen oder als angebliche Denknothwendigkeiten hinstellen will. Die issenschaft muſs alle zulässigen Hypothesen erörtern, um eine vollständige Übercht über die möglichen Erklärungsversuche zu behalten. Noch nothwendiger sind ie Hypothesen für das Handeln, weil man nicht immer zuwarten kann, bis eine gesicherte

38*

wissenschaftliche Entscheidung erreicht ist, sondern sich, sei es nach der Wahrscheinlichkeit, sei es nach dem ästhetischen oder moralischen Gefühl, entscheiden mufs. In diesem Sinne wäre auch gegen die metaphysischen Hypothesen nichts einzuwenden. Unwürdig eines wissenschaftlich sein wollenden Denkers aber ist es, wenn er den hypothetischen Ursprung seiner Sätze vergifst. Der Hochmuth und die Leidenschaftlichkeit, mit der solche versteckte Hypothesen vertheidigt werden, sind die gewöhnlichen Folgen des unbefriedigenden Gefühls, welches ihr Vertheidiger in den verborgenen Tiefen seines Gewissens über die Berechtigung seiner Sache hegt.

Continuität der Empfindungsqualitäten. Nur in einer Beziehung hat sich durch die Erfahrung doch eine gewisse Art der Übereinstimmung zwischen den Abstufungen der Qualitäten der Empfindung und denen der Eigenschaften ihrer Objecte herausgestellt. Wenn sich nämlich die eine continuirlich ändert, thut es in allen bekannten Fällen die andere auch. Daher bieten allgemein die Empfindungen, die durch Reizmittel von verschwindend kleinen Intensitäts- oder Qualitätsunterschieden hervorgerufen werden, verschwindend kleine Unterschiede dar, die bis zur Unwahrnehmbarkeit herabgehen können. Dasselbe gilt für Auge und Haut auch betreffs der örtlichen Unterschiede der gereizten Stelle. Dieses Gesetz ist für die Farbenempfindungen des Lichtes von verschiedener Wellenlänge zuerst von GRASSMANN[1] ausgesprochen worden, und bisher durch die Untersuchung der kleinsten wahrnehmbaren Unterschiede in qualitativer, wie in localer Hinsicht bestätigt worden. In den Untersuchungen über die Wahrnehmungen der kleinsten Helligkeitsunterschiede, der kleinsten Farbenunterschiede, sowie in denen über die Erkennbarkeit kleinster Distanzen im Sehfelde in den §§ 18 und 21 finden sich die entsprechenden Thatsachen dargelegt, soweit sie der Lehre vom Sehen angehören.

Hypothesen über den Ursprung der richtigen Deutung unserer Sinneseindrücke. Die älteren Philosophen und Psychologen waren durchaus geneigt, alles, was in unseren sinnlichen Wahrnehmungsbildern ohne Nachdenken, ohne Besinnen augenblicklich und bei allen Individuen in gleicher Weise zu Stande kommt, unter den Begriff der Perception einzureihen und es als ein unmittelbares Product der organischen Einrichtungen des Nervensystems aufzufassen, dagegen die mögliche Mitwirkung auch sogenannter niedrigerer psychischer Processe, wie z. B. des Gedächtnisses und des Erinnerungsvermögens, dabei gänzlich zu vernachlässigen.

Dafs aber in der That die Vorstellung von der normalen Bedeutung oft wiederholter Perceptionen mit unabänderlicher Sicherheit blitzschnell und ohne das geringste Besinnen zu Stande kommen kann, dafür bietet das Verständnifs der Muttersprache ein lehrreiches Beispiel. Angeboren ist uns diese Kenntnifs nicht; wir haben auch unsere Muttersprache zweifellos gelernt, und zwar durch den Gebrauch, also durch häufig wiederholte Erfahrung. Kinder unserer Nation, die jenseits der Grenze unseres Vaterlandes geboren worden und unter fremdsprachigen Menschen aufgewachsen wären, würden eine andere Sprache erlernt haben und darin ebenso sicher geworden sein, wie wir in der unserigen. Dabei ist eine ausgebildete Sprache einer civilisirten Nation ein so reich entwickeltes Ausdrucksmittel der vielfältigsten und feinsten Schattirungen des Gedankens, dafs sie in dieser Beziehung sehr wohl mit dem Reichthum der körperlichen Formen der uns umgebenden Naturgebilde verglichen werden kann.

Das Beispiel der Sprache ist auch in anderer Beziehung lehrreich, weil es uns Aufschlufs giebt über die Frage, wie solch sicheres und übereinstimmendes

[1] Siehe § 20, S. 335.

erständnifs eines Systems von Zeichen zu gewinnen ist, welches dem individuellen Beobachter gegenüber nur wie ein ganz willkürlich gewähltes wirken kann, wenn uch der vergleichende Philolog Spuren des Zusammenhanges einzelner Wurzeln arin zu erkennen weifs. Die Muttersprache wird nur an dem Gebrauch der Worte elernt. Das Kind hört immer wieder den normalen Namen eines Gegenstandes ussprechen, wenn ihm dieser gezeigt oder gereicht wird, und hört immer wieder ie gleiche Veränderung der ihm sichtbaren Aufsenwelt mit dem gleichen Wort ezeichnen. Dadurch heftet sich in seinem Gedächtnifs das Wort an die Sache, esto öfter und desto fester, je häufiger beide sich wiederholen. Die Wiederholung raucht aber nicht genau in allen Einzelheiten gleich zu sein, sondern der gleiche Namen kann sich auch an eine Klasse unter einander ähnlicher Gegenstände heften der an eine Klasse ähnlicher Vorgänge. Dadurch entwickeln sich dann Namen ür den Begriff einer Klasse von Anschauungsbildern, wobei der Umfang, in welchem er Name für verschiedene Modificationen derselben gebraucht zu werden pflegt, ich ebenfalls nur durch den Gebrauch der Sprache feststellt und nur ausnahms- eise durch eine begriffliche Definition unterstützt wird.

Bei diesem Vorgange, den wir aus alltäglicher Erfahrung kennen und der sich ähnlich für das Verständnifs des Wortschatzes jeder fremden Sprache, die wir später rlernen, wiederholt, ist zunächst bekannt, dafs die Bedeutung jedes Wortes sich esto fester einprägt, je öfter wiederholt wir es anwenden oder anwenden hören; erner, dafs wir anfangs zwar noch die einzelnen Fälle, wo wir es haben anwenden ören, im Gedächtnifs behalten. Später dagegen, wenn die Zahl dieser Fälle zu rofs geworden ist, als dafs wir sie alle einzeln mit den Nebenumständen und in er Zeitfolge, mit und in denen sie eingetreten sind, aus unserer Erinnerung uns ufzählen könnten, bleibt uns nur das Gesammtergebnifs unserer bisherigen Er- ahrungen stehen, dafs das bestimmte Wort diese bestimmte Reihe einander ähn- icher Gegenstände oder einander ähnlicher Vorgänge zu bedeuten pflegt; aber ir wissen nicht mehr anzugeben, bei welchen einzelnen Gelegenheiten wir zu ieser Kenntnifs gekommen sind, auch nicht, warum wir es für die eine Modification es Begriffes gebrauchen, bei einer anderen aber Anstand nehmen, dies zu thun.

Ich schliefse aus diesen Beobachtungen, dafs wir durch häufige Wiederholung leichartiger Erfahrungen dazu gelangen können, eine regelmäfsig immer wieder ein- retende Verbindung zwischen zwei verschiedenen Perceptionen, beziehlich Vor- tellungen, z. B. zwischen dem Klang eines Wortes und sichtbaren oder fühlbaren nschauungsbildern, herzustellen und immer fester zu machen, die ursprünglich gar einen natürlichen Zusammenhang zu haben brauchen, und dafs, wenn dies geschehen st, wir gar nicht mehr im Einzelnen anzugeben wissen, wie wir zu dieser Kenntnifs ekommen sind, und auf welche einzelne Beobachtungen sie sich stützt.

Schliefslich finden wir, dafs wir nicht nur für unsere Muttersprache, sondern uch für gut erlernte fremde Sprachen einen Grad des Verständnisses erreichen önnen, bei dem wir ohne Nachsinnen und Überlegung im Augenblick den Sinn essen verstehen, was der mit uns Sprechende uns mittheilen will, und dafs wir im tande sind, den feinsten und mannigfaltigsten Modificationen seines Gedankens und einer Empfindung dabei zu folgen. Wenn wir aber sagen sollen, wie wir zu dieser enntnifs gekommen sind, so können wir dies nur in der Form des allgemeinen atzes aussprechen, dafs wir immer gefunden haben, dafs diese Worte in diesem inne gebraucht wurden.

Wir kennen es aber als eine allgemeine Regel der Wirkungsweise unseres

Gedächtnisses, dafs sehr oft in gleicher Weise wiederholte und immer in derselben Art der Verbindung zusammengeschlossene Eindrücke unter übrigens gleichen Bedingungen eine viel dauerndere Spur ihrer selbst und ihrer Verbindung in uns hinterlassen und viel sicherer und schneller in dieser Verbindung wieder in das Bewufstsein treten, als solche, welche uns nur in zufälligen und wechselnden Verbindungen vorgekommen sind.

Dieselbe Regel bestätigt sich auch in einer aufserordentlich grofsen Zahl anderer Fälle. Am ausnahmslosesten wird eine Verbindung zweier Beobachtungsthatsachen sich immer wiederholen, wenn dieselbe durch ein Naturgesetz gefordert wird, welches entweder die Gleichzeitigkeit oder die regelmäfsige Aufeinanderfolge derselben in bestimmter Frist verlangt. Durch einen gesetzlosen Zufall dagegen herbeigeführte Fälle von Gleichzeitigkeit oder Aufeinanderfolge werden sich zwar auch gelegentlich wiederholen können, aber nicht ausnahmslos; dazwischen werden sich Fälle mit anderem, und selbst solche mit entgegengesetztem Erfolge einmischen, welche dann dem ausschliefslichen Übergewicht der einen Verbindung entgegenwirken und verhindern, dafs die wechselnden Zufälligkeiten derselben oder überhaupt, was in der wechselnden Erscheinungsweise des Vorganges nicht Ausdruck einer bestimmten Gesetzmäfsigkeit ist, sich ebenso sicher und unabänderlich festsetzen könne, wie das Gesetzmäfsige.

Wenn wir eine Sprache lernen, so ist das, was uns darin als gesetzmäfsig entgegentritt, nur eine von Menschen gewählte und eingehaltene Regel, der wir nicht einmal die Festigkeit und Unabänderlichkeit eines Naturgesetzes zuerkennen können. Dazu kommt, dafs die Zeichen für sehr ähnliche Objecte durchaus nicht nothwendig selbst einander ähnlich zu sein brauchen. Im Gegentheil zeigen sie meist ganz unregelmäfsige, sprungweise auftretende Verschiedenheiten. Wir dürfen uns also nicht wundern, wenn wir unter der Einwirkung aufserordentlich viel zahlreicherer und unter sich ausnahmslos übereinstimmender Beobachtungen über das Verhalten der Naturkörper gegen einander und gegen unsere Sinnes- und Bewegungsorgane zu einer viel vollständigeren Kenntnifs des normalen Verhaltens dieser Körper und ihrer Erscheinungsweise in verschiedenen Lagen und bei verschiedenen Bewegungen kommen, als sie durch die Sprache wiedergegeben werden kann. Für eine genaue Beschreibung der mannigfaltigen Sinneseindrücke, welche ein einziger Naturkörper, namentlich bei etwas unregelmäfsiger oder verwickelter Gestalt, dem Auge und der Hand darbietet, ist die Sprache viel zu arm; und eine Beschreibung eines solchen Eindruckes in Worten würde eine ungeheuer weitläuftige und zeitraubende Arbeit sein, die wir offenbar nicht auszuführen pflegen, wenn wir das Anschauungsbild eines solchen Objectes uns einprägen wollen. In diesen Fällen oder auch in solchen, wo gar keine Wortbeschreibung möglich ist, genügt uns der sinnliche Eindruck ohne Wortfassung, und wir wissen mit dessen Hülfe sogar die feinsten Eindrücke, wie die von menschlichen Gesichtszügen, wieder zu erkennen, gelegentlich nach sehr kurzer Betrachtung und nach langer Zwischenzeit.

In solchen Fällen wird kein Zweifel darüber sein können, dafs wir den sinnlichen Eindruck, den uns das Object gemacht hat, mit hinreichend viel Einzelheiten im Gedächtnifs behalten, um noch längere Zeit später eine bestimmte individuelle Physiognomie von der aller anderen Menschen sicher zu unterscheiden.

Wenn wir ein solches, nur durch sinnliche Eindrücke gegebenes Anschauungsbild eines bestimmten Objectes in uns tragen, pflegen wir dies als Kenntnifs des Objectes im Gegensatz zu dem in Worte zu fassenden Wissen zu bezeichnen. Eine solche Kenntnifs braucht sich nicht auf einzelne perspectivische Bilder des Objectes

zu beschränken, sondern kann auch die Gesammtheit der perspectivischen Bilder umfassen und vereinigen, welche nach einander durch Betrachtung von verschiedenen Gesichtspunkten aus gewonnen werden können. In der That finden wir, dafs wir von wohlbekannten Gegenständen eine Vorstellung ihrer körperlichen Form in uns tragen, welche die Gesammtheit aller der einzelnen perspectivischen Bilder, die wir von verschiedenen Gesichtspunkten aus dahin blickend gewinnen können, vertritt. Denn mit der Kenntnifs der körperlichen Form des Objectes ausgerüstet können wir uns die sämmtlichen perspectivischen Bilder, die wir bei der Ansicht von dieser oder jener Seite zu erwarten haben, deutlich vorstellen, und in der That nehmen wir sogleich Anstofs, wo ein solches Bild unserer Erwartung nicht entspricht, wie es z. B. geschehen kann, wenn durch die Änderung der Lage des Gegenstandes eine Änderung seiner Körperform eintritt. Man denke nur daran, wie aufserordentlich empfindlich ein aufmerksamer Beobachter gegen Zeichenfehler in Darstellungen von Menschen oder Pferden sich erweisen kann, oder gegen kleine Fehler perspectivischer Constructionen, welche regelmäfsige architektonische Gebilde darstellen sollen. Ja, es kommen häufig genug Fälle vor, wo man eher einen kleinen Fehler in einer perspectivischen Zeichnung bemerkt, als einen gleich grofsen in dem Umrisse eines der Rechtecke, welche Theile der Zeichnung bilden, wenn eines derselben isolirt nachconstruirt wird.

In der That ist die körperliche Form eines festen Objectes eine Gröfse, die viel mannigfaltigere constante Beziehungen zwischen ihren verschiedenen Theilen und Dimensionen darbietet, als jedes einzelne perspectivische Bild derselben, und aus der ersteren ist daher bei bekannter Lagenänderung die Änderung jeder perspectivischen Ansicht sicher herzuleiten, weil dies unter dem Eindruck eines ganz festen, wenn auch räumlichen Vorstellungsbildes geschehen kann, welches das constant bleibende Ergebnifs aller einzelnen Flächenansichten zusammenfafst, während eine einzige perspectivische Ansicht nicht die nöthigen Daten liefert, um eine ganz sichere und unzweideutige Vorstellung von der Form des Ganzen und seiner wechselnden Ansichten von anderen Seiten her zu gewinnen. Die auf die festere und einfachere Gesetzmäfsigkeit gestützte Vorstellung erweist sich hier also auch als die, welche die sicherere Anschauung giebt.

Wir werden später bei der Beschreibung der stereoskopischen Bilder noch eigenthümliche Erscheinungen zu erwähnen haben, welche dieses Verhältnifs sehr augenfällig machen. Wenn man nämlich ein Paar stereoskopische Bilder mit etwas ververwickelter Führung der Grenzlinien, z. B. eines regelmäfsigen Polyeders oder Krystallmodells, vor Augen hat, mifslingen die Versuche, das körperliche Bild aus den beiden Darstellungen zur Vereinigung zu bringen, oft im Anfang dadurch, dafs die Blickpunkte der beiden Augen leicht auf nicht einander entsprechenden Linien fortgleiten und sich wieder trennen, bis man die richtige körperliche Vorstellung von dem dargestellten Object gewonnen hat. So wie diese gefunden ist, wandern die beiden Blicklinien mit der gröfsten Sicherheit und Schnelligkeit über alle Theile der Figuren hin. Hier bewährt sich also in der That die Gesammtauffassung der Körperform gleich als die Regel für die Vorstellung, nach welcher man die beiden Blicklinien zu führen hat, um fortdauernd auf correspondirenden Punkten beider Zeichnungen zu bleiben.

In welcher Weise solche Kenntnisse der Bedeutung der Gesichtsbilder von jungen menschlichen Kindern zuerst gesammelt werden, ergiebt sich leicht, wenn wir dieselben beobachten, während sie mit den ihnen als Spielzeug dargebotenen Objecten sich beschäftigen, wie sie dieselben betasten, stundenlang von allen Seiten

betrachten, herumwenden, sie in den Mund stecken u. s. w., endlich sie herunterwerfen oder zu zerschlagen suchen und dies jeden Tag wiederholen. Man wird nicht daran zweifeln können, dafs dies die Schule ist, in der sie das natürliche Verhalten der sie umgebenden Gegenstände kennen lernen, dabei auch die perspectivischen Bilder verstehen, ihre Hände gebrauchen lernen. Ebenso lehrt die Beobachtung jüngerer Kinder, dafs sie in den ersten Wochen ihres Lebens diese Kenntnisse noch nicht haben. Wenn ihnen irgend eine instinktmäfsige Kenntnifs angeboren wäre, so sollte man erwarten, dafs es in erster Linie die Kenntnifs des Bildes der Mutterbrust sein müfste und die Kenntnifs derjenigen Bewegungen, durch welche sie sich diesem Gesichtsbilde zuwenden könnten. Aber eine solche Kenntnifs fehlt ganz offenbar. Man sieht, dafs das Kind lebhaft wird, wenn es in die Stellung für das Säugen gebracht wird, und unruhig suchend den Kopf hin und her wendet, um die Brust zu finden, aber es wendet sich in den ersten Tagen ebenso oft von der Brust ab, wie ihr zu, obgleich es diese frei erblicken kann. Offenbar weifs es in diesem frühen Alter weder das Gesichtsbild, noch die Richtung seiner Bewegungen zu deuten.

Ebenso oft sieht man, dafs ein Kind von ein oder zwei Wochen, dem man eine Kerzenflamme vorhält, unruhig wird und die Augen hin und her wendet, offenbar mit der Absicht, die helle Flamme anzustarren. Sobald es die richtige Stellung der Augen gefunden hat, folgt es langsameren Bewegungen der Flamme mit dem Blicke. Aber das Kind weifs im Anfange nicht, sicher mit dem Blick eine etwas seitlich im Gesichtsfelde befindliche Flamme zu erreichen. Nach zwei oder drei Wochen aber gelingt ihm dies verhältnifsmäfsig schnell; erst viel später gelingt das Greifen mit der Hand nach einem gesehenen Gegenstande.

Ich folgere daraus, dafs die Deutung auch einiger der einfachsten und für das menschliche Kind wichtigsten Gesichtsbilder von ihm erlernt werden mufs und nicht durch angeborene Organisation von vornherein ohne vorausgehende Erfahrung gegeben ist. Wie weit ein ähnlicher Schlufs auf neugeborene Thiere ausgedehnt werden darf, brauchen wir hier nicht zu entscheiden. Die Seelenthätigkeiten der Thiere sind vielleicht durch ihre Instincte auf engere Wege beschränkt, die das Thier auf engerem Gebiete sicherer sich bewegen lassen, als es dem freier wählenden Menschen für seine spätere Entwickelung dienlich wäre.

Ich würde diese bisher angeführten Verhältnisse nicht so ausführlich, wie ich gethan, besprochen haben, wenn mir nicht hierbei ein hartnäckiges und sehr verbreitetes Vorurtheil entgegengetreten wäre, welches, wie mir scheint, seinen Ursprung von einer abweichenden Auffassung der Begriffe: Anschauen und Denken herleitet.

Wie ich schon oben hervorgehoben habe, wird der Terminus „Denken" vorzugsweise auf diejenigen Vorstellungsverbindungen angewendet, bei denen der Vorstellende in bewufster Weise die einzelnen Sätze, aus denen der Schlufs gezogen werden kann, sich vergegenwärtigt, auf ihre Zuverlässigkeit prüft und dann zum Schlufs verbindet. Dagegen pflegt man als Anschauung eine solche Entstehung von Vorstellungen zu bezeichnen, bei denen in bewufster Weise nur der sinnliche Eindruck percipirt wird und danach die Vorstellung von der Gegenwart des Objects in das Bewufstsein springt, ohne dafs weitere Zwischenglieder des Vorstellungskreises zum Bewufstsein kommen. In der That kommt es wesentlich auf diesen Unterschied in dem klaren Bewufstwerden der Zwischensätze an, wenn es sich darum handelt, die Logik im engeren Sinne aufzubauen, d. h. zu untersuchen, wie die Vordersätze beschaffen sein müssen, damit sie die Berechtigung zu einem bindenden Schlusse

ergeben. Bei dieser Aufgabe handelt es sich in der That darum, dafs alle Vordersätze des Schlusses in vollständig klarer Weise in das Bewufstsein erhoben und kritisch geprüft werden, und solche Glieder der Vorstellungskette, die einer derartigen bewufsten Prüfung nicht mehr zugänglich sind, kommen für die logische Prüfung nicht in Betracht, oder höchstens als axiomatische Vordersätze, die man auf Treu und Glauben aus dem Vorrath des Gedächtnisses annimmt.

Aber es wäre offenbar falsch, behaupten zu wollen, dafs in unserem Bewufstsein keine Kenntnisse vorkämen aufser denen, die aus sinnlichen Perceptionen auf dem Wege des logischen Denkens entstanden wären. Die oben erwähnten Beispiele des Erlernens von Sprachen, von Fertigkeiten, vom wachsenden Verständnifs der Gesichtsbilder zeigen in der That, dafs solche Kenntnisse ohne absichtliches Nachdenken gewonnen werden können, und dafs dieselben jeden Grad der Sicherheit und Feinheit erreichen können, ohne dafs die Möglichkeit übrig bleibt, nachträglich die Richtigkeit einer solchen Induction durch die Erinnerung an die einzelnen Fälle zu prüfen, wo und zu welchen Zeiten man entsprechende Beobachtungen gemacht habe, Beobachtungen, die aufserdem zum grofsen Theil gar keine hinreichend specielle Beschreibung in Worten zulassen, sondern in voller Genauigkeit nur durch die Erinnerung an den früheren sinnlichen Eindruck wiedergegeben werden können.

Wir erkennen dadurch, dafs auch Gedächtnifsbilder reiner sinnlicher Eindrücke als Elemente von Gedankenverbindungen benutzt werden können, ohne dafs es nothwendig oder auch nur möglich ist, dieselben in Worten zu beschreiben und sie dadurch begriffsmäfsig zu fassen. Offenbar kommt ein grofser Theil der empirischen Kenntnifs des natürlichen Verhaltens der uns umgebenden Objecte in dieser Weise zu Stande. Für die Vorgänge einer solchen, dem inneren Wesen eines Schlusses entsprechenden Vereinigung sinnlicher Anschauungen scheint mir die vorher besprochene Verschmelzung der vielen perspektivischen Ansichten eines Objects in die Vorstellung seiner Körperform in drei Dimensionen ein besonders anschauliches Beispiel zu sein. In der That vertritt die lebhafte Vorstellung der körperlichen Form alle die erwähnten perspektivischen Ansichten. Die letzteren lassen sich bei hinreichend lebendiger geometrischer Einbildungskraft aus ihr wieder herleiten. Ja selbst bisher noch nicht wahrgenommene Ansichten, wie sie bei der Anlegung von Querschnitten nach gewissen Richtungen gewonnen werden könnten, sind als Folgerungen jener Vorstellung daraus ableitbar. Und andererseits, wenn wir nach dem wahren Inhalt der Vorstellung eines nach drei Dimensionen ausgedehnten Körpers fragen, so ist doch keiner zu finden aufser den Vorstellungen von der Reihe der von ihm zu gewinnenden Gesichtsbilder, mit eventueller Vorstellung solcher, die durch Zerschneiden entstehen könnten.

In diesem Sinne können wir behaupten, die Vorstellung der stereometrischen Form eines körperlichen Objects spielt ganz die Rolle eines aus einer grofsen Reihe sinnlicher Anschauungsbilder zusammengefafsten Begriffs, der aber selbst nicht nothwendig durch in Worten ausdrückbare Definitionen, wie sie der Geometer sich construiren könnte, sondern nur durch die lebendige Vorstellung des Gesetzes, nach dem seine perspektivischen Bilder einander folgen, zusammengehalten wird.

Dafs eine solche mühelose Anschauung der normalen Folge von gesetzlich verknüpften Wahrnehmungen durch hinreichend reiche Erfahrung gewonnen werden kann, habe ich zu beweisen gesucht.

So sehen wir, dafs dieser Procefs, der in seinen wesentlichen Theilen, soweit wir erkennen können, nur durch unwillkürliche und unbewufste Action unseres Gedächtnisses vollzogen wird, dennoch im Stande ist, Vorstellungsverbindungen in

uns hervorzubringen, deren Ergebnisse in allen wesentlichen Zügen mit denen des bewufsten Denkens übereinstimmen. Wie oben schon erwähnt, stärken sich gegenseitig die häufig in gleichartiger Weise wiederholten und sich in gleicher Weise folgenden Eindrücke, die wir durch unsere Sinne empfangen haben. Daneben müssen die zufällig wechselnden zurücktreten und schliefslich der Regel nach verlöschen, wenn ihr Eindruck nicht durch besondere Affecte, die sich mit ihnen verbunden hatten, hervorgehoben und vertieft worden ist.

Wie schon oben betont worden ist, werden mit der Zeit dadurch alle Theile der wahrgenommenen Erscheinungen verstärkt werden müssen, die der Einwirkung eines Naturgesetzes bei dem beobachteten Vorgange entsprechen. Die Vorstellung, dafs die in ihren Anfängen beobachtete Erscheinung nun auch in derselben Weise weiter verlaufen wird, wie wir es bisher immer percipirt haben, wird um so sicherer eintreten, je häufiger und ausnahmsloser wir gleichen Verlauf derselben schon früher wahrgenommen haben.

Eine solche Erwartung entspricht dem Resultat eines Inductionsschlusses. Ein solcher kann täuschen, wenn er auf eine ungenügende Zahl von beobachteten Fällen gestützt ist. Dafs auch Thiere dergleichen Inductionsschlüsse ziehen, und zwar viel öfter falsche, als es bei den Menschen vorkommt, erkennt man an ihrem Verhalten oft genug, z. B. wenn sie zurückschrecken vor irgend einem Gegenstande, der ähnlich aussieht, wie ein anderer, an dem sie sich bei einer früheren Gelegenheit verbrannt haben.

Ich habe in der früheren Auflage dieses Buches diese Art von Inductionsschlüssen, welche auf die Kenntnifs des regelmäfsigen Verhaltens der uns umgebenden Naturobjecte gebaut sind, als unbewufste Schlüsse bezeichnet, und finde den Namen auch jetzt noch bis zu einer gewissen Grenze zulässig und bezeichnend, da diese Associationen von Wahrnehmungen im Gedächtnifs in der That meistens so vor sich gehen, dafs man zur Zeit, wo sie entstehen, nicht auf ihr Entstehen aufmerkt, höchstens in der Weise, dafs man sich erinnert, denselben Vorgang schon öfter beobachtet zu haben, ihn also als einen schon bekannten anerkennt. Höchstens bei den ersten Wiederholungen seltenerer Beobachtungen dieser Art wird die Erinnerung an die früheren Fälle mit ihren Nebenumständen deutlicher hervortreten können, so dafs der psychische Procefs hierbei eine gröfsere Analogie mit bewufstem Denken gewinnen würde.

Inductionsschlüsse sind niemals so zuverlässig, wie wohl geprüfte Schlüsse des bewufsten Denkens. Bewufstes wissenschaftliches Denken unterscheidet sich von der durch gehäufte Erfahrung gesammelten Kenntnifs gewisser Gegenstände oder Vorgänge dadurch, dafs bei jenem zunächst eine möglichst vollständige Übersicht aller bei dem Urtheil in Betracht kommenden Fälle herbeizuschaffen versucht wird, sei es durch Sammlung schriftlicher Nachrichten oder durch Sammlung neuer Beobachtungen, eventuell absichtlich herbeigeführter Beobachtungen, d. h. Versuche. Bei letzteren ist es rathsam, vorzugsweise solche Fälle aufzusuchen, die sich in den Vorbedingungen von allen bisher beobachteten anderen unterscheiden. Die dadurch erreichbare Vollständigkeit in der Kenntnifs der mannigfaltigen Beispiele und der Bedingungen, unter denen sie so oder anders verlaufen, wird in der Regel durch die ungeordnete Zufälligkeit der alltäglichen Erfahrungen nicht erreicht werden, oder höchstens bei solchen Fällen, die sich in ungeheurer Zahl von Wiederholungen und mit verhältnifsmäfsig wenigen Abänderungen und Verwickelungen darbieten.

Falsche Inductionen bei der Deutung unserer Perceptionen pflegen wir als Sinnestäuschungen zu bezeichnen. Sie sind meist verursacht durch

Unvollständigkeit der Induction, deren häufigste Veranlassung darin zu suchen ist, dafs wir gewohnheitsmäfsig gewisse Arten des Gebrauches unserer Sinnesorgane bevorzugen, diejenigen nämlich, wobei wir erkennen, dafs wir durch sie das sicherste und übereinstimmendste Urtheil, beziehlich Schätzung über die beobachteten Objecte, ihre Form, Raumverhältnisse und Beschaffenheit uns bilden können. So pflegen wir z. B. beim Sehen die Objecte, welche unsere Aufmerksamkeit erregen, auf den beiden Stellen des genauesten Sehens in beiden Augen abzubilden, dabei aber die Reihe der hervortretenden Punkte und Linien, die das Object darbietet, mit dem Blick zu durchlaufen, wodurch wir sowohl die Reihe aller Einzelheiten kennen lernen als auch das Auge gegen die Ausbildung störender Nachbilder schützen. Wir werden im Folgenden eine ganze Reihe solcher Regelmäfsigkeiten in den Bewegungen des Auges kennen lernen, welche nicht auf einem zwingenden Mechanismus der Muskeln oder Nervenleitungen beruhen, sondern von jedem Beobachter, wenn er die entsprechenden abweichenden Innervationen zu geben gelernt hat, willkürlich geändert werden können. Dadurch läfst sich erweisen, dafs die Einhaltung der normalen Regelmäfsigkeit der Bewegungen nur ein Ergebnifs der Gewöhnung ist und nicht etwa ein durch die Organisation unseres Körpers vorgebildeter Zwang. Allerdings sind solche Gewohnheiten oft sehr tief gewurzelt und nicht ganz leicht zu überwinden. Die von der Norm abweichenden Bewegungen erfordern entschieden mehr Anstrengung und ermüden schneller. Das ist aber eine gemeinsame Eigenthümlichkeit aller ungewohnten Bewegungen unserer Muskeln, weil dieselben meist durch unzweckmäfsige, einander entgegenwirkende und daher anstrengendere Innervationen hervorgebracht zu werden pflegen, als es die gewohnten und wohl eingeübten Bewegungen thun.

Bei ungewohnten Stellungen und Bewegungen unserer Sinnesorgane kommen nun auch entsprechende ungewöhnliche Perceptionen zu Stande, für welche wir keine eingeübte Kenntnifs ihrer Bedeutung haben. Dann entstehen also falsche Deutungen derselben, und zwar kann man im Allgemeinen die Regel aufstellen, dafs bei anomaler Stellung und Bewegung der Sinnesorgane Anschauungen entstehen von scheinbaren Objecten, wie sie vorhanden sein müfsten, um bei derselben Blickrichtung unter normaler Beobachtungsweise dieselben Perceptionen hervorzubringen. Unter dieselbe Regel fallen auch die Anschauungen, welche sich bilden, wenn die Lichtstrahlen, ehe sie in das Auge fallen, von ihrem geradlinigen Wege abgelenkt werden, wie es durch Spiegelung und Brechung geschehen kann, nur dafs wir in diesem Falle die Täuschung eher als solche erkennen; aber das Bild, was sich uns darbietet, ist immer das eines Gegenstandes oder einer scheinbaren Ausbreitung von Licht im Gesichtsfelde, wie sie vorhanden sein müfste, um uns bei ungestörtem geradlinigen Einfall des objectiven Lichtes in das Auge dieselben Gesichtsbilder zu geben.

Beispiele von Fällen dieser Art werden sich im weiteren Verfolg dieser Untersuchung vielfach darbieten. Ihre Erklärungen werden sich besser bei den einzelnen Beispielen durchführen lassen unter genauer Beschreibung der Bedingungen, unter denen die einzelnen Täuschungen eintreten. Physiologisch sind diese Erscheinungen von Wichtigkeit, weil sie uns die normalen Beobachtungsmethoden des Auges kennen lehren, von denen sich meistens nachweisen läfst, dafs sie auch als diejenigen angesehen werden dürfen, welche die genauesten Schätzungen der Dimensionen durch das Augenmafs, die genauesten Vergleichungen der Farben und Helligkeiten, überhaupt eine möglichst genaue und sichere Beurtheilung der interessirenden Theile des Bildes zulassen.

Was den Grad der Täuschung bei solchen Gelegenheiten betrifft, so kann

derselbe sehr verschieden sein. Man denke z. B. an die Bilder, welche ein guter ebener Planspiegel zurückwirft, der an der Wand hängt, so dafs man nicht dahinter sehen kann. Ein solcher giebt eine der vollkommensten optischen Täuschungen, die man sich denken kann, und doch werden selbst Thiere selten durch ein Spiegelbild zu einem Irrthum verleitet; Kinder blicken, wenn sie können, wohl einen Augenblick nach der Hinterseite des Spiegels und amüsiren sich an dem Bilde und seinen Bewegungen, aber begreifen verhältnifsmäfsig schnell, dafs es eine Täuschung sei, die nicht der Wirklichkeit entspricht, und lernen das Spiegelbild bald als ihr eigenes Abbild auffassen.

Um die Täuschung kurze Zeit zu unterhalten, mufs man schon die Ränder des Spiegels gut verstecken und verhindern, dafs der Beobachter sich selbst gespiegelt sehe.

Die meisten anderen Sinnestäuschungen werden gewöhnlich schnell als solche entdeckt, weil der Beobachter sich bewufst ist, eine ungewöhnliche Art der Beobachtung anzuwenden, von der aus er geneigt ist, in die normale, ihm geläufigere überzugehen, in der die Täuschung schwindet und als solche erkannt wird. Nur wenn dazu keine Zeit ist, tritt wohl ein wirklicher Irrthum ein, der einen Augenblick dauert, z. B. bei den Lichtblitzen, die ein Stofs gegen das Auge erregt.

Deshalb erscheinen die meisten Sinnestäuschungen nur in der Weise, dafs man bemerkt, man habe ein der Wirklichkeit nicht ganz entsprechendes Bild vor sich, und dafs man nun dieses Bild vergleicht mit demjenigen, welches abgeänderte Objecte bei richtigem Sehen geben würden. Die besondere Art dieses Bildes aber kann man nur beschreiben oder im eigenen Gedächtnifs festhalten, indem man sich oder Anderen die Objecte beschreibt, welche da sein müfsten, um dem normalen Auge ein ähnliches Bild zu geben. Dann ist sogar die Form der Beschreibung: „Ich sehe das durch die Täuschung veränderte Object" eine ganz richtige Beschreibung der Empfindung, die der Beobachter hat, und meistens wird er sich selbst bei geringer Erfahrung dabei ganz klar über die Täuschung sein, die sich ihm darbietet.

Für alle subjectiven Erscheinungen, deren Ursache an einem bestimmten Ort im Augapfel haftet, ist die Bewegung des Phänomens mit dem Blick bei Bewegung des Auges ein Kennzeichen, welches sehr schnell aufgefafst wird und die subjective Natur aufdeckt. Da nun unser Interesse überwiegend der Erkenntnifs der umgebenden Aufsenwelt zugewendet ist, so wenden wir unsere Aufmerksamkeit gewohnheitsmäfsig von solchen subjectiven Erscheinungen ab, die sich gleich als subjectiv verrathen, und es tritt sogar eine gewisse Schwierigkeit ein, dieselben zu beobachten und die ihnen entsprechende Intention der Aufmerksamkeit zu finden. Verstärkt wird diese Schwierigkeit allerdings in hohem Mafse durch die Steigerung der Reizbarkeit, welche in dauernd beschatteten Stellen der Netzhaut, beziehlich die Verminderung derselben, die in dauernd beleuchteten Stellen der Netzhaut eintritt. Hauptsächlich dieser Vorgang ist es, auf welchen das allmälige Verlöschen der im Auge streng fest liegenden Bilder zurückzuführen zu sein scheint.

Ich habe schon in § 15 hervorgehoben, wie sehr es dabei darauf ankomme, die Beschattung zwischen verschiedenen Netzhautstellen wechseln zu lassen. Von den Phänomenen des Sehnerveneintritts und der Schwierigkeit, ihn zu sehen, werden wir in § 20 zu handeln haben.

Eine eigenthümliche Rolle spielt hierbei noch die Schwierigkeit, die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Theil der vorliegenden Perceptionen zu concentriren. Einen gewissen Einflufs hat dabei eine Art willkürlicher Anstrengung. Ich ver-

weise hierbei auf die unten in § 28 besprochenen Versuche mit momentaner Beleuchtung eines vorher vollständig verdunkelten Feldes, auf welchem ein Blatt mit grofsen gedruckten Buchstaben ausgebreitet war. Vor der elektrischen Entladung erblickte der Beobachter nichts als einen mäfsig erhellten Nadelstich, der das Papier durchbohrte. Dieser wurde fest fixirt und diente zur ungefähren Orientirung über die Richtungen in dem dunklen Felde. Die elektrische Entladung erleuchtete das gedruckte Blatt für einen untheilbaren Augenblick, in welchem das Bild desselben sichtbar wurde und eine sehr kurze Zeit als positives Nachbild stehen blieb. Die Dauer der Wahrnehmbarkeit des Bildes war also auf die Dauer des Nachbildes beschränkt. Augenbewegungen von mefsbarer Gröfse konnten während der Dauer des Funkens nicht ausgeführt werden, und auch solche während der kurzen Dauer des Nachbildes konnten dessen Lage auf der Netzhaut nicht mehr ändern. Dessenungeachtet fand ich es möglich, mir vorher vorzunehmen, welchen Theil des dunklen Feldes seitlich von dem fortdauernd fest fixirten hellen Nadelstich ich im indirecten Sehen wahrnehmen wollte, und erkannte bei der elektrischen Beleuchtung dann wirklich einige Buchstabengruppen jener Gegend des Feldes, meist aber mit dazwischenbleibenden Lücken, die leer blieben. Nach starken Blitzen hatte ich in der Regel mehr Buchstaben gelesen, als nach schwächeren. Die Buchstaben des bei Weitem gröfsten Theile des Feldes waren dagegen nicht zur Wahrnehmung gekommen, auch nicht immer die in der Nähe des Fixationspunktes. Bei einer folgenden elektrischen Entladung konnte ich, immer den Nadelstich fixirend, meine Wahrnehmung auf eine andere Gegend des Feldes richten und dann dort eine Gruppe von Buchstaben lesen.

Diese Beobachtungen erweisen, wie mir scheint, dafs man durch eine willkürliche Art von Intention, auch ohne Augenbewegungen, ohne Änderungen der Accommodation die Aufmerksamkeit auf die Empfindungen eines bestimmten Theils unseres peripherischen Nervensystems concentriren, und sie gleichzeitig von allen anderen Theilen desselben ausschliefsen kann.

Bei der gewöhnlichen Art des Beobachtens richten wir allerdings auch die Aufmerksamkeit willkürlich besonderen Theilen des Gesichtsfeldes oder des Gebietes der Perceptionen überhaupt zu. Dabei folgt aber Richtung des Blicks und Accommodation der Intention der Aufmerksamkeit, und es könnte also diese Erfahrung so ausgelegt werden, dafs die Aufmerksamkeit eben stets an die Netzhautgrube geknüpft sei, und das die Willkürlichkeit ihrer Richtung nur durch die Willkürlichkeit der Augenbewegungen bedingt sei. In der That ist es recht schwer und erfordert vielfache Übung, wenn man lernen, will die Aufmerksamkeit den Bildern der seitlichen oder peripherischen Theile der Netzhaut zuzuwenden, wie dies mehr oder weniger fast alle die bisher beschriebenen Phänomene der genannten Art erkennen lassen. Als solche Bedingungen, unter denen dieselben leichter die Aufmerksamkeit auf sich ziehen, sind folgende zu bemerken:

1. Höhere Intensitäten der Phänomene, namentlich wenn dieselben die Sichtbarkeit der reellen Objecte beeinträchtigen.

2. Schneller Wechsel des Helligkeitsunterschiedes zwischen nahe benachbarten Theilen des Feldes, daher auch Bewegung begrenzter Flächenstücke im Felde, oder auch Bewegung von Schatten durch Wechsel der Beleuchtungsrichtung, wie bei den entoptischen Objecten. Wechsel der Helligkeit bringt, wie schon bemerkt, wegen der abschwächenden Wirkung der negativen Nachbilder stets einen intensiveren Eindruck hervor, als constante Intensität der Beleuchtung. Das könnte einen Theil der dadurch erfolgenden Vermehrung der Aufmerksamkeit erklären. Der unmittelbare Eindruck

im Bewufstsein ist aber mehr, dafs jeder schnelle Wechsel im Seitentheile des Gesichtsfeldes die Frage nach dem Grunde der bemerkten Änderung anregt und daher gewöhnlich der Blick schnell nach der Stelle gerichtet wird, wo man die Veränderung bemerkt hat.

3. Das objective Interesse hat überhaupt einen mächtigen Einflufs auf die Lenkung der Aufmerksamkeit und kann sie fast vollständig beherrschen. Man denke an das Verhalten beim Lesen, wo Blick, Accommodation und Aufmerksamkeit gleichzeitig den Worten der begonnenen Zeile folgen und von Zeile zu Zeile weitergehen ohne Unterbrechung und Störung, wenigstens wenn das Gelesene interessant ist.

Dieser Einflufs des objectiven Interesses fällt aber gröfstentheils mit dem Einflufs des Willens zusammen, da sich Willensintentionen am leichtesten und häufigsten an Wünsche, d. h. Interessen, anzuknüpfen pflegen.

Dafs übrigens die willkürliche Lenkung der Aufmerksamkeit eine ermüdende Leistung des Gehirns ist, lehrt die alltägliche Erfahrung, auch wenn keinerlei Muskelarbeit damit verbunden ist.

433 Dieselbe Schwierigkeit, welche wir finden, Empfindungen subjectiver Art zu beobachten, d. h. solche, welche durch innere Ursachen hervorgerufen sind, dieselbe tritt auch ein, wenn zusammengesetzte Empfindungen, welche stets in derselben Verbindung durch irgend ein einfaches Object erregt zu werden pflegen, in ihre einzelnen Bestandtheile aufgelöst werden sollen. In solchen Fällen lehrt uns die Erfahrung ein zusammengesetztes Aggregat von Empfindungen als das Zeichen für ein einfaches Object kennen und, gewöhnt, den Empfindungscomplex als ein zusammengehöriges Ganze zu betrachten, vermögen wir in der Regel nicht ohne äufsere Hilfe und Unterstützung uns der einfachen Bestandtheile eines solchen bewufst zu werden. Beispiele dieser Art werden wir im Folgenden viele kennen lernen. Die Wahrnehmung der Richtung zum Beispiel, in welcher sich ein Object vom Auge befindet, beruht auf der Combination derjenigen Empfindungen, nach denen wir die Stellung des Auges beurtheilen, und der Unterscheidung derjenigen Netzhauttheile, welche vom Licht getroffen sind, von den nicht getroffenen. Die Wahrnehmung der körperlichen Form eines nach drei Dimensionen ausgedehnten Objects beruht auf der Combination zweier verschiedener perspectivischer Ansichten von beiden Augen. Die scheinbar einfache Qualität des Glanzes einer Fläche beruht auf verschiedener Färbung oder Helligkeit ihres Bildes in beiden Augen. Es sind diese Sätze theoretisch gefunden und können durch passende Versuche erwiesen werden, aber es ist meist sehr schwer, oft unmöglich, durch directe Beobachtung und Analyse der Empfindungen allein dies zu finden. Selbst bei viel zusammengesetzteren Empfindungen, die nur häufig wiederkehrenden zusammengesetzten Objecten entsprechen, wird die Analyse der Empfindung durch blofse Beobachtung desto schwerer, je häufiger dieselbe Zusammensetzung wiedergekehrt ist und je mehr wir uns gewöhnt haben, sie als das normale Zeichen der wirklichen Beschaffenheit des Objects zu betrachten. Als Beispiel dazu möge die bekannte Erfahrung dienen, dafs die Farben einer Landschaft viel glänzender und bestimmter heraustreten, wenn man sie bei schiefer und umgekehrter Lage

es Kopfes betrachtet, als bei der gewöhnlichen aufrechten Haltung. Bei der ewöhnlichen Art der Beobachtung suchen wir nur die Objecte als solche ichtig zu beurtheilen. Wir wissen, dafs grüne Flächen aus einer gewissen ntfernung in etwas verändertem Farbenton erscheinen; wir gewöhnen uns on dieser Veränderung abzusehen und lernen das veränderte Grün ferner Viesen und Bäume doch mit der entsprechenden Farbe naher Objecte zu lentificiren. Bei sehr fernen Objecten, fernen Bergreihen bleibt von der örperfarbe wenig zu erkennen, sie wird meist durch die Farbe der rleuchteten Luft überdeckt. Diese unbestimmt blaugraue Farbe, an welche ach oben das helle blaue Feld des Himmels oder das rothgelbe der Abend-eleuchtung, nach unten das lebhafte Grün der Wiesen und Wälder grenzt, 434
t Veränderungen durch den Contrast sehr ausgesetzt. Es ist für uns die nbestimmte und wechselnde Farbe der Ferne, deren Unterschied zu verchiedenen Zeiten und bei verschiedenen Beleuchtungen wir wohl genauer eachten, während wir ihre wahre Beschaffenheit nicht bestimmen, da wir e auf kein bestimmtes Object zu übertragen haben und wir eben ihre echselnde Beschaffenheit kennen. So wie wir uns aber in ungewöhnliche mstände versetzen, z. B. unter dem Arme oder zwischen den Beinen durchehen, so erscheint uns die Landschaft als ein plattes Bild, theils wegen der ngewöhnlichen Lage ihres Bildes im Auge, theils weil die binoculare Betheilung der Entfernung, wie wir unten sehen werden, ungenauer wird. a es kommt wohl vor, dafs bei umgekehrtem Kopfe die Wolken richtige erspective bekommen, während die Objecte der Erde als ein Gemälde auf enkrechter Fläche erscheinen, wie sonst die Wolken am Himmel. Damit erlieren auch die Farben ihre Beziehung zu nahen oder fernen Objecten nd treten uns nun rein in ihren eigenthümlichen Unterschieden entgegen.[1] a erkennen wir denn ohne Mühe, dafs das unbestimmte Blaugrau der eiten Ferne oft ziemlich gesättigtes Violett ist, dafs das Grün der Vegetion stufenweise durch Blaugrün und Blau in jenes Violett übergeht u. s. w. ieser ganze Unterschied scheint mir nur darauf zu beruhen, dafs wir die arben nicht mehr als Zeichen für die Beschaffenheit von Objecten betrachten, ndern nur noch als verschiedene Empfindungen und wir deshalb ihre eigenümlichen Unterschiede, unbeirrt durch andere Rücksichten, genauer auffassen.

Wie sehr wir durch die Beziehung der Empfindungen auf äufsere bjecte an der Perception der einfachsten Verhältnisse der Empfindungen lbst gestört werden, wird sich namentlich auch in der Schwierigkeit zeigen, it der wir die binocularen Doppelbilder wahrnehmen, wenn dieselben als ilder ein und desselben äufseren Objects aufgefafst werden können.

Die gleichen Erfahrungen können wir im Gebiete anderer Sinnesnpfindungen in gleicher Weise machen. Die Empfindung der Klangfarbe nes Schalls ist, wie ich anderwärts[2] gezeigt habe, zusammengesetzt aus ner Reihe von Empfindungen seiner einzelnen Partialtöne (Grundton und

---

[1] Dieselbe Erklärung bei O. N. Rood, in *Silliman Journal* (2) XXXII, p. 184–185, 1861.
[2] Helmholtz, *Die Lehre von den Tonempfindungen.* Braunschweig, 1. Aufl. 1862. 4. Aufl. 1877.

harmonische Obertöne), aber es ist aufserordentlich schwer, die zusammengesetzte Empfindung des Klanges in diese ihre Bestandtheile aufzulösen. Die Tastempfindung des Nassen ist zusammengesetzt aus der der Kälte und des leichten Gleitens über die Oberfläche. Wenn wir deshalb unvermuthet ein kaltes glattes Metallstück berühren, glauben wir oft, etwas Nasses berührt zu haben. Beispiele dieser Art würden sich noch viele häufen lassen. Sie alle zeigen, dafs wir aufserordentlich gut eingeübt sind, aus unseren Sinnesempfindungen die objectiven Beschaffenheiten der Objecte der Aufsenwelt zu ermitteln, in der Beobachtung isolirter Empfindungen aber viel weniger sicher sind, und dafs uns die eingeübte Beziehung auf die Aufsenwelt sogar hindert, die reinen Empfindungen uns deutlich zum Bewufstsein zu bringen.

435 Auch ist dies nicht blos für die qualitativen Unterschiede der Empfindung geltend, es gilt ebenso für die Wahrnehmung räumlicher Verhältnisse. Die Bewegung eines gehenden Menschen zum Beispiel ist uns ein vertrauter und gewohnter Anblick. Wir betrachten sie als zusammenhängendes Ganze und werden uns höchstens ihrer auffallendsten Einzelheiten bewufst. Es gehört grofse Aufmerksamkeit dazu und eine besondere Wahl des Gesichtspunkts, um die senkrechten und seitlichen Schwankungen des Körpers eines Gehenden zu erkennen. Wir müssen passend gelegene Punkte oder Linien des Hintergrunds wählen, mit dem wir die Lage seines Kopfes vergleichen. Man betrachte aber einmal ferne gehende Menschen durch ein astronomisches Fernrohr, welches umgehrte Bilder zeigt, welch ein seltsames Hüpfen und Wiegen des Körpers die Gehenden hervorbringen. Dabei hat man gar keine Schwierigkeiten mehr, die einzelnen Schwankungen des Körpers und manche andere Einzelheiten des Ganges, namentlich auch die individuellen Verschiedenheiten und deren Grund zu erkennen, nur weil dieser Anblick nicht mehr der alltäglich gewohnte ist. Dagegen tritt im umgekehrten Bilde der Charakter des Ganges, ob er leicht oder schwerfällig, würdevoll oder anmuthig ist, nicht mehr so gut hervor, wie im aufrechten.

Es kann unter diesen Umständen oft recht schwer werden, zu beurtheilen, was in unseren durch den Gesichtssinn gewonnenen Anschauungen unmittelbar durch die Empfindung, und was im Gegentheil durch Erfahrung und Einübung bedingt ist. An diese Schwierigkeit knüpft sich auch der hauptsächlichste principielle Gegensatz, welcher zwischen verschiedenen Forschern in diesem Gebiete besteht. Die einen sind geneigt, dem Einflufs der Erfahrung einen möglichst breiten Spielraum einzuräumen, namentlich alle Raumanschauung daraus herzuleiten; wir können diese Ansicht als die **empiristische Theorie** bezeichnen. Die andern müssen allerdings den Einflufs der Erfahrung für eine gewisse Reihe von Wahrnehmungen zugeben, glauben aber für gewisse, bei allen Beobachtern gleichförmig eintretende elementare Anschauungen ein System von angeborenen und nicht auf Erfahrung begründeten Anschauungen, namentlich der Raumverhältnisse, voraussetzen zu müssen. Wir dürfen diese letztere Ansicht im Gegensatz zur

ersteren wohl als die *nativistische Theorie* der Sinneswahrnehmungen bezeichnen.

In diesem Streite sind, wie ich glaube, folgende Grundsätze festzuhalten.

Wenn wir den Namen der *Vorstellung* beschränken auf das Erinnerungsbild von Gesichtsobjecten, welches von keinen gegenwärtigen sinnlichen Empfindungen begleitet ist, den der *Anschauung* auf die von den bezüglichen sinnlichen Empfindungen begleitete Wahrnehmung, den der *Perception* auf eine solche Anschauung, in der nichts enthalten ist, was nicht aus den unmittelbar gegenwärtigen sinnlichen Empfindungen hervorgeht, also eine Anschauung, wie sie auch ohne alle Erinnerung an früher Erfahrenes sich bilden könnte, so ist zunächst klar, dafs ein und dieselbe Anschauung in sehr verschiedenem Mafse von den entsprechenden sinnlichen Empfindungen begleitet sein kann, dafs also Vorstellung und Perception in den verschiedensten Verhältnissen sich zur Anschauung verbinden können.

Wenn ich mich in einem bekannten Zimmer befinde bei hellem Sonnen- 436
schein, so habe ich eine von sehr energischen Empfindungen reichlich begleitete Anschauung. In demselben Raum werde ich Abends in der Dämmerung nur die helleren Objecte erkennen können, namentlich die Fenster, aber was ich wirklich noch erkenne, schmilzt mit meinen Gedächtnifsbildern, die das Zimmer betreffen, so zusammen, dafs ich immer noch im Stande sein werde, mich in demselben sicher umher zu bewegen und Gegenstände, die ich suche, zu finden, selbst wenn ich von ihnen nur ein schattenhaftes Bild erhaschen kann, was ohne meine vorgängige Kenntnifs durchaus ungenügend wäre, sie zu erkennen. Endlich kann ich mich in demselben Raume in absolutem Dunkel befinden, und mich doch, vermöge der Erinnerung an die früher von ihm erhaltenen Gesichtsbilder in ihm zurechtfinden, so dafs das Anschauungsbild durch immer weitere Beschränkung des sinnlichen Materials endlich auf das reine Vorstellungsbild zurückgeführt werden und in dieses allmählig übergehen kann. Meine Bewegungen werden allerdings um so unsicherer, meine Anschauung um so ungenauer werden, je mehr das sinnliche Material entzogen wird, indessen wird kein eigentlicher Sprung stattfinden, sondern Empfindung und Erinnerung werden sich fortdauernd ergänzen, nur in verschiedenem Mafse.

Aber selbst, wenn wir ein solches Zimmer bei vollem Sonnenschein beschauen, so zeigt eine leichte Ueberlegung, dafs auch dann ein grofser Theil unseres Anschauungsbildes auf Momenten der Erinnerung und Erfahrung beruhen mag. Unsere Gewöhnung an die perspectivischen Verziehungen der Bilder parallelepipedischer Körper und an die Form der Schlagschatten ist bei der Beurtheilung ihrer Form und ihrer Gröfse von beträchtlichem Einflusse, wie wir später sehen werden. Schliefsen wir, während wir das Zimmer betrachten, ein Auge, so glauben wir es nicht weniger deutlich und bestimmt vor uns zu sehen, als mit zwei Augen, und doch würde uns nun genau dasselbe Gesichtsbild gegeben werden, wenn alle Punkte des Zimmers

so verschoben würden, dafs sie ihre Entfernung vom Auge beliebig änderten, aber auf denselben Visirlinien blieben.

Während wir also in Wahrheit in einem solchen Falle eine äufserst vieldeutige sinnliche Erscheinung vor uns haben, geben wir ihr doch eine ganz bestimmte Auslegung, und es ist gar nicht leicht, sich dessen bewufst zu werden, dafs das einäugige Bild eines solchen wohlbekannten Gegenstandes eine viel mangelhaftere Wahrnehmung bedingt, als das der beiden Augen. So ist es auch, wenn ungeübte Beobachter stereoskopische Photographien betrachten, oft genug schwer herauszubringen, ob sie die eigenthümliche Täuschung, die das Instrument giebt, erkennen oder nicht.

Wir sehen also, wie hierbei die Erinnerungsbilder aus früheren Erfahrungen zusammenwirken mit gegenwärtigen Sinnesempfindungen, um ein Anschauungsbild hervorzubringen, welches sich unserem Wahrnehmungsvermögen mit zwingender Macht aufdrängt, ohne dafs darin für das Bewufstsein sich deutlich trennt, was durch Erinnerung, was durch gegenwärtige Wahrnehmung gegeben ist.

Noch schlagender ist der Einflufs des Verständnisses der Sinnesempfindungen, wenn in einzelnen Fällen, namentlich bei unvollkommener Be-
437 leuchtung ein Gesichtsbild im Anfange unverständlich ist, weil wir ihm nicht die richtigen Tiefendimensionen zu geben wissen, wenn wir z. B. irgend ein fernes Licht für nah, oder ein nahes für fern halten. Plötzlich fällt uns ein, was es ist, sogleich entwickelt sich unter dem Einflusse des richtigen Verständnisses auch das richtige Anschauungsbild in seiner vollen Energie, und wir sind nicht im Stande, von diesem zu der früheren unvollkommenen Anschauung zurückzukehren.

Sehr häufig kommt dies namentlich bei complicirten stereoskopischen Zeichnungen von Krystallformen und anderen vor, die in vollkommener sinnlicher Klarheit zur Anschauung kommen, sobald es gelungen ist, das richtige Verständnifs erst einmal zu gewinnen.

Dergleichen Erfahrungen, die jeder Leser gelegentlich gemacht haben wird, beweisen, dafs die aus der Erfahrung hergeleiteten Momente in den Sinneswahrnehmungen sich mit eben solcher zwingenden Kraft geltend machen können, wie die aus gegenwärtigen Empfindungen hergeleiteten, und es ist dies auch von allen den Beobachtern, die sich eingehend mit der Theorie der Sinneswahrnehmungen beschäftigt haben, immer zugegeben worden, selbst von denen, welche geneigt sind, der Erfahrung so wenig Spielraum als möglich, einzuräumen.

Daher mufs jedenfalls die Möglichkeit zugegeben werden, dafs auch in dem, was dem Erwachsenen als unmittelbare sinnliche Anschauung erscheint, noch eine Menge von einzelnen Momenten stecken, die in der That Product der Erfahrung sind, obgleich es vorläufig schwer ist, hier die Grenze zu ziehen.

Ich glaube nun, dafs unsere bisherigen Erfahrungen uns berechtigen, den Satz aufzustellen, dafs keine unzweifelhaft gegenwärtige

mpfindung durch einen Act des Verständnisses beseitigt und berwunden werden kann, sondern wenn wir auch noch so gut erkennen, afs dieselbe auf irgend eine anomale Weise zu Stande gekommen sei, so schwindet och die Sinnestäuschung nicht durch das Verständnifs des Vorganges. Wir önnen die Aufmerksamkeit von Empfindungen ablenken, namentlich, wenn schwache und gewohnte Empfindungen sind, aber so wie wir auf dienigen Verhältnisse der Aufsenwelt merken, die mit diesen Empfindungen Verbindung stehen, werden wir gezwungen sein, dieselben zu bemerken. können wir die Temperaturempfindung unserer Haut, wenn sie nicht hr lebhaft ist, und die Berührungsempfindungen, welche unsere Kleider rursachen, vergessen, so lange wir uns mit ganz anderen Dingen beschäfgen. So wie wir aber unsere Aufmerksamkeit darauf lenken, ob es warm er kalt sei, werden wir nicht im Stande sein, das Gefühl von Wärme in s von Kälte zu verwandeln, etwa, weil wir wissen, dafs es herrührt von strengender Bewegung und nicht von der Temperatur der uns umgebenden ft. Ebenso wenig schwindet der Lichtschein beim Druck auf das Auge rch bessere Einsicht in das Wesen des Processes, vorausgesetzt, dafs wir sere Aufmerksamkeit dem Gesichtsfelde zugewendet haben, und nicht etwa m Ohre oder der Haut.

Andererseits können wir auch vielleicht nicht im Stande sein, einen npfindungseindruck zu isoliren, weil er eingeht in das zusammengesezte nliche Zeichen eines äufseren Objects. Dann zeigt aber die richtige Aufsung des Objects, dafs die betreffende Empfindung percipirt und vom 438
wufstsein verwendet worden ist.

Ich schliefse daraus, dafs **nichts in unseren Sinneswahrnehmungen Empfindung anerkannt werden kann, was durch Momente, die chweisbar die Erfahrung gegeben hat, im Anschauungsbilde erwunden und in sein Gegentheil verkehrt werden kann.**

Was also durch Erfahrungmomente überwunden werden kann, werden selbst als Product der Erfahrung und Einübung zu betrachten haben. wird sich zeigen, dafs wenn wir dieser Regel folgen, nur die Qualitäten Empfindung als wirkliche reine Empfindung zu betrachten sind, bei tem die meisten Raumanschauungen aber als Product der Erfahrung und übung.

Dagegen folgt nicht, dafs Anschauungen, die gegen unsere bessere ufste Einsicht Stand halten und uns als Sinnestäuschungen stehen bleiben, t doch auf Erfahrung und Einübung beruhen könnten. Unsere Kenntnifs Farbenveränderungen, welche die Trübung der Luft an fernen Gegenden hervorbringt, der perspectivischen Verziehungen und der Form der Schlagtten beruht unzweifelhaft auf Erfahrung, und doch werden wir vor einem n Landschaftsbilde den vollkommenen sinnlichen Eindruck der Ferne und körperlichen Gestalt darauf befindlicher Gebäude haben, trotzdem wir en, dafs alles auf die Leinwand gezeichnet ist.

Ebenso ist unsere Kenntnifs des zusammengesetzten Klangs der Vocale

jedenfalls aus der Erfahrung entnommen, und doch bekommen wir de sinnlichen Eindruck des Vocalklangs durch Zusammensetzung von einzelne Stimmgabeltönen, wie ich dies gezeigt habe, und fassen den Klang als ei Ganzes, obgleich wir wissen, daſs er in diesem Falle wirklich zusammen gesetzt ist.

455 Die ältere Geschichte der Lehre von den Sinneswahrnehmungen im Allgemeine fällt zusammen mit der Geschichte der Philosophie, wie schon am Schlusse des siebzehnte Paragraphen auseinandergesetzt ist. Die Physiologen des 17. und 18. Jahrhunderts kame mit ihrer Untersuchung meist nur bis zum Netzhautbilde, und glaubten, daſs mit desse Bildung alles abgemacht sei, daher sie denn auch durch die Fragen, warum wir di Gegenstände aufrecht sehen und warum wir sie einfach sehen trotz der Existenz zweie verkehrten Nethautbilder, nicht wenig in Verlegenheit gesetzt wurden.

Unter den Philosophen hat zuerst CARTESIUS sich eingehender mit den Gesicht wahrnehmungen beschäftigt mit Berücksichtigung der naturwissenschaftlichen Kenntnisse seiner Zeit. Er erkennt die Qualitäten der Empfindung als wesentlich subjectiv an, hä aber die Anschauungen der quantitativen Verhältnisse der Gröſse, Gestalt, Bewegung Lage, Dauer, Zahl der Gegenstände für objectiv richtig anschaubar. Zur Erklärung de Richtigkeit dieser Vorstellungen nimmt er aber wie die ihm nachfolgenden idealistische Philosophen ein System angeborener Ideen an, die mit den Dingen übereinstimmten Diese Theorie wurde dann später am consequentesten und reinsten von LEIBNITZ entwickel

BERKELEY untersuchte eingehend den Einfluſs des Gedächtnisses auf die Gesicht wahrnehmungen und die inductiven Schlüsse, die dabei vorkommen, von denen er sag daſs sie so schnell geschehen, daſs wir sie nicht bemerken, wenn wir nicht absichtlic darauf achten. Diese empirische Basis führte ihn dann freilich zu der Behauptung, da nicht blos die Qualitäten der Empfindung, sondern auch die Wahrnehmungen überhaup nur innere Processe seien, denen nichts äuſseres entspräche. Er wird zu dieser Schluſ folgerung verleitet durch den falschen Satz, die Ursache (das wahrgenommene Objec müsse ihrer Wirkung (der Vorstellung) gleichartig, also auch ein geistiges Wesen, nich ein reales Object sein.

Die Erkenntniſstheorie von LOCKE leugnete die angeborenen Ideen und suchte all Erkenntniſs auf Empirie zu gründen; das Streben endete aber bei HUME in der Leugnun aller Möglichkeit von objectiver Erkenntniſs.

456 Der wesentlichste Schritt, um die Frage auf den richtigen Standpunkt zu steller wurde von KANT in seiner Kritik der reinen Vernunft gethan, in der er allen reelle Inhalt des Wissens aus der Erfahrung ableitete, von diesem aber unterschied, was in de Form unserer Anschauungen und Vorstellungen durch die eigenthümlichen Fähigkeite unseres Geistes bedingt ist. Das reine Denken *a priori* kann nur formal richtige Sätz ergeben, die als nothwendige Gesetze des Denkens und Vorstellens allerdings absolu zwingend erscheinen, aber keine reale Bedeutung für die Wirklichkeit haben, also auc niemals irgend eine Folgerung über Thatsachen einer möglichen Erfahrung zulasse können.

In dieser Auffassung ist die Wahrnehmung anerkannt als eine Wirkung, welche da wahrgenommene Object auf unsere Sinnlichkeit hat, welche Wirkung in ihren nähere Bestimmungen ebenso gut abhängt von dem Wirkenden wie von der Natur dessen, au welches gewirkt wird. Auf die empirischen Verhältnisse wurde dieser Standpunk namentlich von JOH. MÜLLER übertragen in seiner Lehre von den specifischen Energie der Sinne.

Die nachfolgenden idealistischen Systeme der Philosophie von J. G. FICHTE, SCHELLING HEGEL haben allen Nachdruck wieder darauf gelegt, daſs die Vorstellung wesentlich ab hängig sei von der Natur des Geistes, und den Einfluſs, den das Wirkende auf di Wirkung hat, vernachlässigt. Sie sind deshalb auch für die Theorie der Sinneswahr nehmung von geringem Einflusse gewesen.

Kant hatte Raum und Zeit kurzweg als gegebene Formen aller Anschauung hingestellt, ohne weiter zu untersuchen, wie viel in der näheren Ausbildung der einzelnen räumlichen und zeitlichen Anschauungen aus der Erfahrung hergeleitet sein könnte. Diese Untersuchung lag auch aufserhalb seines Weges. So betrachtete er namentlich die geometrischen Axiome auch als ursprünglich in der Raumanschauung gegebene Sätze, eine Ansicht, die ich zu widerlegen gesucht habe.[1] Seinem Vorgange schlossen sich Joh. Müller und die Reihe von Physiologen an, welche die nativistische Theorie der Raumanschauung auszubilden suchten. Joh. Müller selbst nahm an, dafs die Netzhaut in ihrer räumlichen Ausdehnung sich selbst empfinde vermöge einer angeborenen Fähigkeit dazu, und dafs die Empfindungen beider Netzhäute hierbei verschmölzen. Als derjenige, welcher in neuerer Zeit am consequentesten diese Ansicht durchzuführen und den neueren Entdeckungen anzupassen gesucht hat, ist E. Hering zu nennen.

Schon vor Müller hatte Steinbuch eine Herleitung der räumlichen Einzelanschauungen mittelst der Bewegungen der Augen und des Körpers versucht. Von philosophischer Seite nahmen Herbart, Lotze, Waitz und Cornelius dieselbe Aufgabe in Angriff. Von empirischer Seite war es später namentlich Wheatstone, welcher durch die Erfindung des Stereoskops einen mächtigen Anstofs zur Untersuchung des Einflusses der Erfahrung auf unsere Gesichtsanschauungen gab. Aufser kleineren Beiträgen, die ich selbst in verschiedenen Arbeiten zur Lösung dieser Aufgabe gegeben habe, sind hier als Versuche, eine empiristische Ansicht durchzuführen, zu nennen: die Schriften von Nagel, Wundt, Classen. Das Nähere über diese Untersuchungen und Streitpunkte ist in den folgenden Paragraphen zu erörtern.

§ 27. Die Augenbewegungen. 457

Da die Bewegungen der Augen eine wesentliche Rolle bei der Bildung der Raumanschauungen durch den Gesichtssinn spielen, so müssen wir zunächst mit ihnen näher bekannt werden.

Der Augapfel hat zwar keine aus Knochen fest geformte regelmäfsige Gelenkhöhle, wie wir sie in den Gelenken der Extremitäten finden; die Augenhöhle, in der er liegt, ist vielmehr, wie *Fig. 30*, S. 42, zeigt, im Ganzen eine Höhlung von der Gestalt einer vierkantigen Pyramide, deren Spitze nach hinten sieht, und welche sich in keiner Weise dem nahehin kugelig geformten Augapfel anschliefsen kann. Die Lücken, welche zwischen dem letzteren und den knöchernen Wänden der Höhle bleiben, werden durch sehr fetthaltiges loses Bindegewebe ausgefüllt, in welchem die Muskeln, Nerven, Gefässe des Auges, die Thränendrüse u. s. w. liegen. Verhältnifsmäfsig am engsten sind diese Lücken längs des vorderen Randes der Augenhöhle; es bleibt dort, namentlich nach oben, innen und aufsen nur ein ziemlich schmaler Spalt zwischen dem Augapfel und dem Knochen übrig, wie man leicht fühlen kann, wenn man die Fingerspitze dazwischenzuschieben sucht. Man kann dies nicht, ohne sogleich Druckbilder hervorzubringen; nur nach unten und aufsen gegen das Jochbein hin ist die Lücke etwas gröfser. Dadurch ist nun die weiche Masse von Fett, Muskeln, Nerven, Gefäfsen und Drüsen, welche hinter dem Augapfel liegt, in eine Höhlung eingeschlossen, welche fast vollständig von festen Wänden umgeben ist, und nur wenige

[1] Siehe: H. v. Helmholtz, *Populäre wissenschaftliche Reden und Vorträge.* Bd. II, S. 1.

und schmale Spalten von nachgiebigerer Substanz darbietet. Diese Höhlung wird nach hinten und nach den Seiten von den knöchernen Wänden der Augenhöhle, nach vorn durch den Augapfel selbst gebildet. Da nun die genannten organischen Massen, Fett, Muskeln, Nerven u. s. w. fast ganz incompressibel sind, wie das Wasser, welches den gröſsten Theil ihres Gewichts ausmacht, und weder merklich ausweichen, noch an Volum zunehmen können, so sind zunächst alle Bewegungen des Augapfels an die Bedingung gebunden, daſs durch sie das Volumen der hinter dem Augapfel gelegenen Theile nicht verändert werden kann.

Der Augapfel kann also unter normalen Verhältnissen nicht in die Augenhöhle hineindringen oder aus ihr heraustreten, wenigstens nicht bei den schnell wechselnden Zusammenziehungen seiner Muskeln. Wenn Blut stärker in die Gefäſse der Augenhöhle eindringt oder aus ihnen sich entleert, wie es z. B. nach erschöpfenden Krankheiten und im Tode geschieht, so
458 wird dadurch allerdings das Volumen der weichen hinter dem Augapfel liegenden Theile verändert, und dieser dringt vor oder zieht sich zurück. Dergleichen Veränderungen können aber bei den willkürlichen Bewegungen des Auges nicht eintreten. Wenn man versucht, den Augapfel mit den aufgelegten Fingern in die Augenhöhle zurückzudrängen, so fühlt man gleich einen erheblichen Widerstand, noch ehe eine merkliche Verschiebung des Auges eingetreten ist, und man bemerkt die subjectiven Erscheinungen, welche der Druck im Auge hervorruft. Dabei sieht man die Weichtheile neben dem Augapfel, namentlich unten hervordrängen; so wie man mit dem Drucke nachläſst, ziehen diese sich aber auch vermöge ihrer elastischen Spannung wieder zurück.

Ebenso wenig kann sich der Augapfel als Ganzes nach rechts und links, oder nach oben und unten verschieben, weil ihm hier überall die benachbarten Theile des vorderen knöchernen Randes der Augenhöhle in den Weg treten.

Dadurch sind also alle Verschiebungen des Augapfels als Ganzes, das heiſst, alle Verschiebungen, bei welchen sämmtliche Puncte des Augapfels sich in gleicher Richtung bewegen, unmöglich gemacht, und es bleiben als ausführbar nur *Drehungen* übrig, das heiſst Bewegungen, bei welchen eine Seite des Augapfels in die Augenhöhle hineintritt, während eine andere heraustritt. Im Ganzen hat also die Art, wie der Augapfel eingebettet ist, für die Bewegungen desselben dasselbe mechanische Resultat, als wäre er ein kugeliger Gelenkkopf, in einer kugeligen Pfanne befestigt, wie der Kopf des Oberschenkelbeins.

Wenn der Augapfel also nur drehende Bewegungen ausführen kann, so ist die erste Frage die nach dem *Mittelpunkte* dieser Drehungen.

Professor Junge aus Petersburg hat in meinem Laboratorium den Drehpunkt des Auges zu bestimmen gesucht, indem er beobachtete, um wie viel sich die Lichtreflexe beider Hornhäute einander näherten, wenn die Gesichtslinien aus paralleler Stellung in einen bestimmten Convergenzwinkel über-

gingen. Es zeigte sich indessen, dafs die Ellipticität der Hornhäute einen merklichen Einflufs auf die Berechnung der Resultate hatte, und da es sehr mühsam ist, diese Ellipticität für viele Augen zu bestimmen, so war die Methode nicht eben ausgedehnter Anwendung fähig, obgleich sie übrigens sehr genaue Resultate gab.

Donders und Doijer[1] haben deshalb eine einfachere Methode angewendet, welche sich als zureichend genau bewährte. Es wurde zuerst der horizontale Durchmesser der Hornhaut mit dem Ophthalmometer gemessen, und die Lage der Gesichtslinie gegen die Hornhautaxe bestimmt. Dann wurde ein feiner senkrechter Faden unmittelbar vor dem Auge ausgespannt, und beobachtet, wie weit das Auge nach rechts und links blicken mufste, damit bald der eine, bald der andere Rand der Hornhaut hinter den Faden trat. Aus diesem Winkel uud der bekannten Breite der Drehungen liefs sich dann die Lage des Drehpunkts berechnen. Das Nähere darüber unten.

Danach ergab sich, dafs bei 19 normalsichtigen Augen der Drehpunkt zwischen 10,42 und 11,77 Mm. hinter der durch den Rand der Hornhaut gelegten Ebene lag, im Mittel 10,957; oder 13,557 hinter dem Scheitel der Hornhaut, und etwa 10 Mm. vor der hinteren Fläche der Sclerotica, der 459
letzteren also etwas näher als der Basis der Hornhaut. Die Lage des Drehpunkts hängt eben hauptsächlich ab von der Form der hinteren Hälfte des Augapfels, weil nur diese in Berührung kommt mit dem widerstehenden weichen Polster, welches den Grund der Augenhöhle ausfüllt. Diese hintere Hälfte des Augapfels scheint bei normalen Augen einem stärker abgeplatteten Ellipsoide anzugehören, als die vordere; der Drehpunkt mufs etwa mit dem Mittelpunkte dieses Ellipsoids zusammenfallen.

Kurzsichtige Augen sind nach hinten verlängert; bei ihnen liegt deshalb der Drehpunkt auch weiter nach hinten als bei normalsichtigen. Donders fand ihn im Maximo bis zu 13,26 Mm. hinter der Basis der Hornhaut oder 15,86 hinter ihrem Scheitel liegend. Hyperopische Augen dagegen sind hinten abgeflacht, wobei auch der Drehpunkt ein wenig mehr nach vorn rückt; das Minimum seiner Entfernung von der Basis der Hornhaut betrug 9,71 Mm. oder 12,32 hinter dem Scheitel der Hornhaut.

Ob der Drehpunkt für jede Richtung und Gröfse der Drehung ganz constant sei, hat Donders noch nicht untersucht.

Es stellte sich bei diesen Versuchen ferner heraus, dafs die normalen Augen mit einer einzigen Ausnahme die für diese Versuche nöthigen Drehungen des Auges, welche 28° nach beiden Seiten hin betrugen, ohne Schwierigkeit ausführen konnten, die kurzsichtigen Augen aber hatten oft eine beschränktere Beweglichkeit; unter den Hyperopen fand sich ebenfalls nur ein Ausnahmsfall mit beschränkterer Beweglichkeit. Doch können die meisten Augen auch wohl noch stärkere Drehungen ausführen. Ich erreiche bei stärkerer Anstrengung in horizontaler Richtung etwa 50° nach beiden

---

[1] Derde Jaarlijksch Verslag betr. het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders. Utrecht 1862, p. 209–229.

Seiten, und etwa 45° nach oben und nach unten, so dafs ich von oben nach unten das Auge etwa um einen rechten Winkel, von rechts nach links um etwas mehr drehen kann. Die äufsersten Drehungen sind aber schon sehr gezwängt und nicht lange zu ertragen.

Wir gehen jetzt dazu über zu untersuchen, welche Drehungen vom Augapfel ausgeführt werden. In der Art der Befestigung des Augapfels liegt kein Hindernifs für eine jede Art von Drehung von mässiger Amplitude; die Muskeln sind ebenfalls vorhanden, welche Drehung um jede beliebige Axe würden ausführen können; die genauere Untersuchung der Bewegungen der menschlichen Augen hat aber ergeben, dafs unter den gewöhnlichen Umständen des normalen Sehens durchaus nicht alle Bewegungen wirklich ausgeführt werden, zu deren Ausführung die mechanischen Mittel vorhanden sind. Wir werden also zunächst die Frage zu untersuchen haben, welche Bewegungen werden vom menschlichen Auge wirklich ausgeführt?

Bei den Bestimmungen der Lage der Augen und der gesehenen Objecte handelt es sich in der Regel darum, ihre Lage im Verhältnifs zu der des Kopfes zu bestimmen, dessen Lage und Richtung im Raume selbst als bekannt angenommen werden mufs. Zu diesen Bestimmungen verwenden wir zunächst am passendsten folgende von Henle für die anatomischen Beschreibungen eingeführte Nomenclatur.

Der menschliche Kopf besteht aus zwei symmetrischen Hälften, seine
460 Mittelebene der Symmetrie nennen wir die Medianebene. Diejenigen Linien, welche entsprechende Puncte der rechten und linken Kopfhälfte verbinden, nennen wir transversale oder quere Linien. Sie sind senkrecht zur Medianebene. Ebenen, welche der Medianebene parallel laufen, heifsen Sagittalschnitte.

Als natürliche Stellung des Kopfes kann diejenige betrachtet werden, welche bei aufrechter Haltung des Körpers angenommen wird, wenn die Blicke nach dem Horizont gerichtet sind. Bei dieser Haltung liegt für mich die *Glabella* des Stirnbeins (der Theil dicht über der Nasenwurzel) senkrecht über den Oberzähnen. Diese Stellung ist dadurch allerdings nicht ganz genau, sondern nur annähernd bezeichnet; wie für die Augenbewegungen eine genauere Bestimmung gewonnen werden kann, wird sich später zeigen. Die in dieser Haltung durch den Kopf gelegten horizontalen Ebenen heifsen Horizontalschnitte oder Querschnitte, die senkrecht zur Medianebene gelegten verticalen Schnitte dagegen Frontalschnitte. Die Frontalschnitte und Querschnitte schneiden sich in transversalen Linien. Die Linien, in denen sich die Medianebene und die ihr parallelen Sagittalschnitte mit den Querschnitten (Horizontalschnitten) schneiden, heifsen sagittale (pfeilrechte) Linien, und diejenigen, in denen sich die Medianebene und die Sagittalschnitte mit den Frontalschnitten schneiden, verticale (senkrechte) Linien. Die transversalen Linien also verlaufen von rechts nach links, die sagittalen von vorn nach hinten, die verticalen von oben nach unten.

So ist ein rechtwinkeliges Coordinatensystem gegeben, welches im Kopfe selbst als fest, und mit ihm beweglich angesehen wird. Die beiden Seiten der Medianebene sind als *rechts* und *links* zu bezeichnen, die einer Sagittalebene als *innen* und *aufsen*, oder wo dies eine Verwechselung in Beziehung auf das Innere von hohlen Organen zulassen würde, nach Henle's Vorschlag als *laterale* (nach der äufseren Seite sehend) und als *mediale* (gegen die Medianebene sehend) zu bezeichnen. Die beiden Seiten der transversalen Schnitte werden als oben und unten bezeichnet werden können, oder wo dies bei schiefer Haltung des Kopfes zweideutig sein könnte, als *stirnwärts* und *kinnwärts* gekehrt. Die beiden Seiten der Frontalschnitte sind unzweideutig als *vorn* und hinten zu bezeichnen.

Für die Bewegungen des Auges bildet der Drehpunkt den festen Punkt, und beim normalen Sehen sind beide Augen immer so gestellt, dafs sie ein und denselben äufseren Punkt fixiren, welcher Punkt, da das Sehen mit bewegtem Auge *Blicken* genannt wird, der *Blickpunkt* heifsen mag (sonst auch *Fixationspunkt* genannt). Eine gerade Linie, welche vom Blickpunkte nach dem Drehpunkte des Auges gezogen ist, nennen wir *Blicklinie*. Sie ist nicht ganz identisch mit der *Gesichtslinie*, die dem ungebrochenen Lichtstrahle entspricht, sondern mufs etwas auf deren innerer (medialer) Seite liegen, da der Drehpunkt vermuthlich in der Augenaxe, und somit medianwärts von der Gesichtslinie liegt. Doch wird die Abweichung beider Linien von einander in den meisten Fällen zu vernachlässigen sein. Ein Lichtstrahl, der der Blicklinie folgt, mufs wie alle vom Blickpunkte ausgehenden Strahlen schliefslich durch das Centrum des gelben Flecks gehen, *461*
und wird deshalb nicht in der Verlängerung der Blicklinie bleiben können.

Eine Ebene, welche durch die beiden Blicklinien gelegt ist, werde *Blickebene* genannt (der Name der *Visirebene*, der hierfür auch gebraucht ist, wird wohl besser für die Ebene, in der die *Visirlinien* liegen, aufgespart; übrigens wird der Unterschied zwischen Blickebene und Visirebene in der Regel zu vernachlässigen sein). Die Verbindungslinie der Drehpunkte, welche mit den beiden Blicklinien ein Dreieck einschliefst, ist als Basis dieses Dreiecks betrachtet, und dem entsprechend *Grundlinie* (*Basallinie*) genannt worden. Die Medianebene des Kopfes schneidet die Grundlinie in ihrem Mittelpunkte, und die Blickebene in der *Medianlinie* der Blickebene.

Der Blickpunkt kann gehoben und gesenkt, das heifst stirnwärts oder kinnwärts bewegt werden. Das Feld, welches er durchlaufen kann, nennen wir das *Blickfeld*; seine Ausdehnung ist geringer als die des Gesichtsfeldes. Wir denken uns das Blickfeld als Theil einer Kugeloberfläche, deren Mittelpunkt im Drehpunkt liegt. Nehmen wir eine bestimmte Lage der Blickebene, die anfangs willkürlich gewählt, später näher bestimmt werden mag, als ihre Anfangslage an, so ist jede neue Lage der Blickebene zu bestimmen durch den Winkel, den sie mit der Anfangslage bildet, und den wir den *Erhebungswinkel des Blicks* nennen wollen. Derselbe ist

positiv zu rechnen, wenn die Blickebene stirnwärts, negativ, wenn sie kinn-wärts verschoben ist.

In der Blickebene kann sich nun die Blicklinie jedes Auges lateralwärts oder medianwärts wenden; wir bezeichnen dies als **Seitenwendungen des Blicks**, und messen ihre Gröfse durch den **Seitenwendungswinkel**, das heifst durch den Winkel, den die Richtung der Blicklinie mit der Medianlinie der Blickebene bildet. Wendungen nach rechts mögen einen positiven Werth des Seitenwendungswinkels haben, Wendungen nach links einen negativen Werth.

Durch den **Erhebungswinkel** und den **Seitenwendungswinkel** ist die Richtung der Blicklinie gegeben. Fick, Meissner, Wundt haben dazu zwei andere Winkel benutzt. In den von mir gebrauchten Bestimmungen wird die Blicklinie erst mit der Blickebene gehoben, und dann in der Blickebene seitwärts gewendet. Fick setzt die Blickebene zuerst als horizontal voraus und die Blicklinie in ihr horizontal verschoben um einen Winkel, den er die *Longitudo* nennt, indem er die Verticalaxe des Auges mit der Polaraxe eines Erdglobus vergleicht. Dann läfst er die Blicklinie erst heben um einen Winkel, den er die *Latitudo* nennt. Bei dieser Messung sind aber sowohl die *Longitudo* als *Latitudo* in ihrem Werthe abhängig von der gewählten Anfangslage der Blickebene, für welche man von vorn herein keine genügend feste Bestimmungsweise hat, und jede Aenderung dieser Anfangslage macht trigonometrische Berechnungen für die beiden andern Winkel nöthig. Dagegen ist der von mir gewählte **Seitenwendungswinkel** ganz unabhängig von der Wahl der Anfangslage der Blickebene, und der **Erhebungswinkel** ist einfach durch Addition oder Subtraction zu corrigiren, wenn man zu einer anderen Wahl seines Nullpunkts übergeht.

462 Durch die genannten Winkel ist nun die Lage der Blicklinie vollständig gegeben, aber noch nicht die Stellung des Auges. Der Augapfel würde vielmehr noch beliebige Drehungen um die Blicklinie als Axe machen können, ohne dafs diese ihre Lage dabei ändert. Solche Drehungen des Augapfels um die Blicklinie als Axe pflegt man **Raddrehungen** zu nennen, weil die Iris sich dabei dreht, wie ein Rad. Um die Gröfse der Raddrehung zu messen, mufs der Winkel bestimmt werden, den eine im Auge feste Ebene mit der Blickebene macht. Als solche habe ich die Ebene gewählt, welche mit der Blickebene zusammenfällt, wenn der Blick beider Augen der Medianebene parallel in aufrechter Kopfhaltung nach dem unendlich entfernten Horizonte gerichtet ist, und habe diese im Auge feste Ebene den **Netzhauthorizont** genannt. Ich fand diese Bestimmung unzweideutig bei meinen eignen und bei denjenigen normalsichtigen Augen, die ich untersuchte. Sie ist es aber nicht, wie sich später herausgestellt hat, bei kurzsichtigen Augen, und mufs also bei solchen entweder eine genau bestimmte Anfangslage der Blickebene festgesetzt werden, oder würde es für die später zu machenden Anwendungen vielleicht vortheilhaft sein, für solche Augen diejenige Lage der Blickebene zu benutzen, bei welcher die in der Blickebene liegenden

geraden Linien sich auf correspondirenden Stellen beider Netzhäute abbilden, was bei den normalsichtigen in der oben genannten der Medianebene parallelen Richtung des Blicks Regel zu sein scheint. Den Winkel zwischen dem *Netzhauthorizonte* und der *Blickebene* nennen wir den *Raddrehungswinkel* des Auges, und nehmen ihn positiv, wenn das obere Ende des verticalen Meridians der Netzhaut nach rechts abgewichen ist. Dabei dreht sich das Auge wie der Zeiger einer von ihm betrachteten Uhr.

Wir wollen zunächst die Gesetze für diejenigen Bewegungen beider Augen untersuchen, bei denen beide Blicklinien fortdauernd parallel gerichtet bleiben, wie sie ausgeführt werden, wenn man eine Reihe weit entfernter Gegenstände überblickt. Bei Convergenz der Augen treten kleine Abweichungen vom dem Gesetze ein, welches für parallele Gesichtslinien gilt.

Das erste von Donders aufgestellte und durch alle späteren Untersuchungen bestätigte Gesetz ist, dafs, *wenn die Lage der Blicklinie in Beziehung zum Kopfe gegeben ist, dazu auch ein bestimmter und unveränderlicher Werth der Raddrehung gehört*, welcher unabhängig von der Willkür des Beobachters und unabhängig von dem Wege ist, auf welchem die Blicklinie in die betreffende Stellung gebracht ist. Ausgedrückt in der von uns gewählten Bezeichnungsweise, heifst dieses Gesetz:

Der Raddrehungswinkel jedes Auges ist bei parallelen Blicklinien eine *Function nur von dem Erhebungswinkel und dem Seitenwendungswinkel.*

Donders hat namentlich entgegen der von Hueck früher aufgestellten Meinung gezeigt, dafs der Werth der Raddrehung nicht wechselt bei geänderter Neigung des Kopfes, wenn dabei die Stellung der Blicklinie zum Kopfe unverändert bleibt. Er hatte die Stellung jedes einzelnen Auges auch für unabhängig von der Stellung des andern Auges gehalten. Dagegen hat Volkmann allerdings einen, wenn auch geringen Einflufs der Convergenz 463
wenigstens für kurzsichtige Augen nachgewiesen, den wir nachher besprechen werden. Aber auch abgesehen davon hat Ermüdung der Augenmuskeln durch länger eingehaltene Convergenzstellungen einigen Einflufs, und aufserdem kann unter besonderen ebenfalls nachher zu besprechenden Umständen das Streben, die Objecte einfach zu sehen, unter Bedingungen, wo man dies nur mittelst abnormer Augendrehungen erreichen kann, wenn auch nicht sogleich, aber nach einiger Zeit einen Einflufs auf die Stellung des Auges ausüben. Kleine Veränderungen treten auch von einem zum anderen Tage ein. Aber alle diese Abweichungen sind gering und beeinträchtigen der Hauptsache nach nicht die Geltung des Donders'schen Gesetzes.

Die Hauptzüge des Gesetzes der Augendrehungen, welche allen Augen gemeinsam sind, lassen sich unter folgende Gesichtspunkte zusammenfassen.

Es ist unter den verschiedenen Augenstellungen eine herauszufinden von der Art, dafs wenn von ihr aus der Blick gerade nach oben oder gerade nach unten, gerade nach rechts oder nach links gewendet wird, keine Raddrehung des Auges erfolgt. Diese Stellung nennen wir die *Primärstellung*

der Blicklinie. Wenn man also von der Primärstellung ausgeht, so bringt reine Erhebung oder Senkung des Auges ohne Seitenabweichung, oder reine Seitenabweichung ohne Erhebung und ohne Senkung keine Raddrehung hervor.

Die Lage der Blickebene, welche durch die Primärstellungen beider Blicklinien geht, nennen wir die Primärstellung der Blickebene.

In erhobener Stellung der Blickebene geben Seitenwendungen nach rechts Drehungen des Auges nach links und Seitenwendungen nach links Drehungen nach rechts.

In gesenkter Stellung der Blickebene dagegen geben Seitenwendungen nach rechts auch Drehungen nach rechts und Seitenwendungen nach links Drehungen nach links.

Oder: Wenn der Erhebungs- und Seitenwendungswinkel dasselbe Vorzeichen haben, ist die Drehung negativ, wenn jene ungleiches Vorzeichen haben, ist die Drehung positiv.

Bei gleicher Erhebung oder Senkung ist die Rotation um so stärker, je gröfser die seitliche Abweichung, und bei gleicher Seitenwendung um so stärker, je gröfser die Erhebung oder Senkung ist.

Um sich von den angegebenen Thatsachen zu überzeugen, benutzt man nach dem von Ruete zuerst gemachten Vorschlage am besten Nachbilder. Zu dem Ende stelle man sich der Wand eines Zimmers gegenüber auf, welche mit einer Tapete überzogen ist, die horizontale und verticale Linien erkennen läfst, ohne dafs aber das Muster so scharf gezeichnet ist, dafs man Schwierigkeit fände, Nachbilder auf ihm zu erkennen; am besten ist eine matte blafsgraue Grundfarbe. Dem Auge des Beobachters gerade gegenüber und in gleicher Höhe mit ihm spanne man ein horizontales schwarzes oder farbiges Band auf, zwei bis drei Fufs lang, welches stark
464 gegen die Farbe der Tapete absticht. Um die Lage des Kopfes zu sichern, ist es vortheilhaft, den Hinterkopf fest anzulehnen, wobei man darauf zu achten hat, dafs derselbe weder nach rechts noch nach links geneigt oder gedreht sei. Es mufs vielmehr die Mittelebene des Kopfes vertical gehalten werden und senkrecht zur betrachteten Wand stehen. Ob die Mittelebene des Kopfes vertical sei, erkennt man leicht, wenn man die Augen so convergiren läfst, dafs Doppelbilder des schwarzen Bandes entstehen; diese müssen in eine gerade Linie zusammenfallen. Man fixire nun eine kurze Zeit lang ganz fest die Mitte des Bandes, und wende dann, ohne den Kopf zu verrücken, plötzlich die Augen nach einer anderen Stelle der Wand hin. Man wird dort ein Nachbild des Bandes sehen, und durch Vergleichung dieses Bildes mit den horizontalen Linien der Tapete erkennen können, ob das Nachbild horizontal erscheint, oder nicht. Das Nachbild selbst ist entwickelt auf denjenigen Punkten der Netzhaut, die dem Netzhauthorizonte angehören, und bezeichnet bei den Bewegungen des Auges diejenigen Theile des Gesichtsfeldes, auf welche der Netzhauthorizont sich projicirt. Die Schnittlinie der

Blickebene mit der gegenüberliegenden Wand dagegen mufs immer horizontal sein, wenn der Kopf des Beobachters die verlangte Stellung hat, so dafs die Verbindungslinie der Drehpunkte beider Augen selbst horizontal und der Ebene der Wand parallel ist. Die horizontalen Linien der Tapete geben also die Projection der Blickebene auf die Tapete, und wie das Nachbild gegen diese Horizontallinien gedreht ist, so ist der Netzhauthorizont gegen die Blickebene gedreht.

Wir finden, dafs wenn man bei richtig gewählter Stellung des Kopfes gerade nach oben und unten, oder gerade nach rechts und links sieht, das Nachbild des horizontalen Bandes mit den horizontalen Linien der Tapete zusammenfällt. Wenn man aber nach rechts und oben oder nach links und unten blickt, so ist es nach links gedreht, d. h. sein linkes Ende steht tiefer als das rechte, immer im Vergleich zu den Horizontallinien der Tapete, und wenn man nach links oben oder rechts unten blickt, ist das Nachbild umgekehrt etwas nach rechts gedreht, sein rechtes Ende steht tiefer als das linke.

Der Sinn dieser Drehungen ist genau derselbe für das rechte wie für das linke Auge, wovon man sich am leichtesten und vollkommensten überzeugt, wenn man beide Augen gleichzeitig öffnet, während man das Nachbild hervorbringt, dann die Richtung des Blicks ändert, und während man das Nachbild betrachtet, schnell hinter einander bald das rechte, bald das linke Auge mit der Hand verdeckt. Welches man auch verdecken möge, so behält das Nachbild bei den von mir untersuchten normalsichtigen Augen vollkommen dieselbe Stellung.

Wenn man das Band vertical ausspannt, und in derselben Weise das Nachbild des verticalen Bandes mit den Verticallinien der Tapete vergleicht, so erhält man scheinbar entgegengesetzte Drehungen. Wenn man nämlich nach rechts und oben sieht, erscheint das Nachbild gegen die Verticallinien der Tapete nicht nach links, sondern umgekehrt nach rechts gedreht. Daraus darf man aber nicht auf eine Drehung des Auges nach rechts schliefsen, weil in diesem Falle die verticalen Linien der Tapete nicht mit der Projection einer auf der Blickebene errichteten Normalen zusammenfallen, diese letztere 465
vielmehr in demselben Sinne, wie das Nachbild, nur noch stärker gedreht erscheinen würde.

Der ganze Gang der Erscheinung nach dem für normalsichtige Augen gültigen Gesetze ist in *Fig. 200* dargestellt worden. Es wird vorausgesetzt, dafs das Auge sich in der Normale über a befinde in einer Entfernung gleich AB. Dann fallen die Nachbilder einer durch a gehenden horizontalien Linie, wenn sie auf einen andern Theil des Feldes projicirt werden, mit der Richtung der Curven b_1b_1, b_2b_2 etc. zusammen; die einer senkrechten durch a gehenden Linie dagegen mit der Richtung der Curven cc, c_1c_1, c_2c_2 etc. Die Curven sind für normale Augenbewegungen Hyperbeln.

Da nun, wenn man von der Primärstellung ausgeht und den Blick schief nach oben oder unten wendet, die Nachbilder verticaler Linien, verglichen

mit den Verticallinien der Wand, scheinbar die entgegengesetzte Drehung erleiden als die horizontalen Nachbilder im Vergleich mit horizontalen Linien der Wand, so darf man sogleich vermuthen, dafs zwischen horizontalen und verticalen Linien mitten inne für jede Augenbewegung eine Richtung des Nachbilds existiren wird, wobei es der Richtung seines Objects parallel bleibt; und in der That ist das auch der Fall. Man findet nämlich, dafs die Nachbilder schräger Linien, die man in der Primärlage fixirt hat, ihrem Object parallel bleiben, wenn man den Blick entweder in der Verlängerung der Objectlinie, oder von der Primärlage ausgehend senkrecht zu dieser wandern läfst.

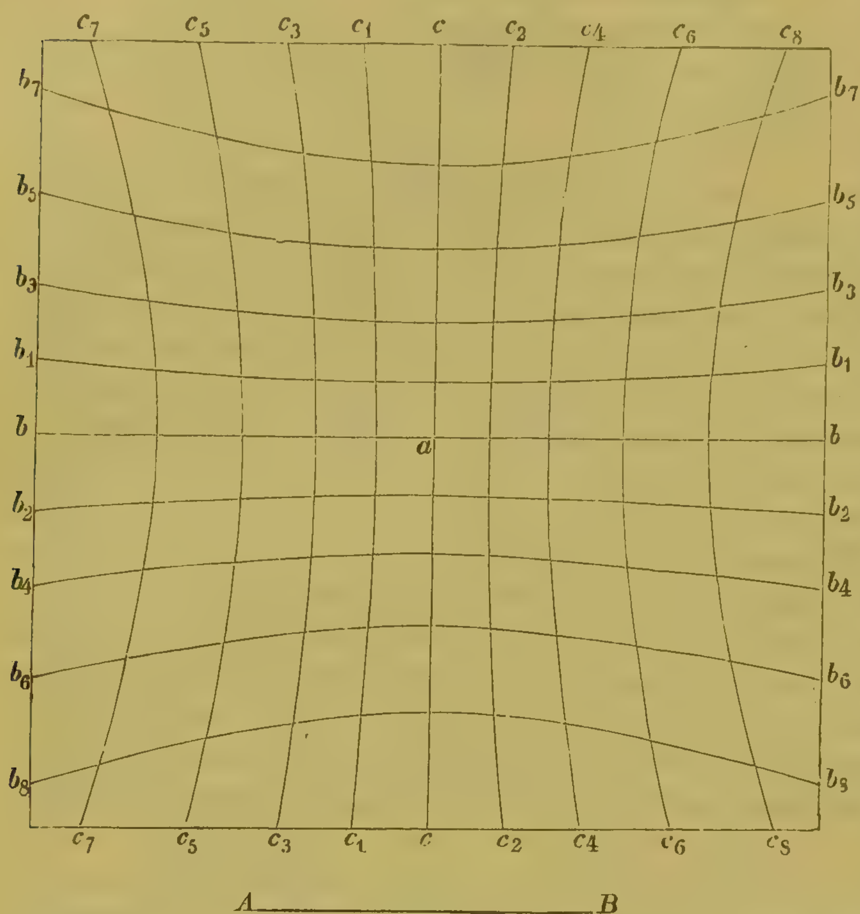


Fig. 200.

Es sei also in *Fig. 201* o der Punkt, wo die Blicklinie in der Primärstellung die Ebene der Zeichnung senkrecht schneidet; aa sei eine verticale, bb eine horizontale durch o gezogene Linie. Wird der Blick nach p gewendet, so erhalten ihre Nachbilder die Lagen $\alpha\alpha$ und $\beta\beta$, welche beide den Linien aa, beziehlich bb nicht parallel sind. Zieht man aber durch o die Linien cc und dd, von denen die erstere die Richtung der Verbindungslinie op hat, die
466 zweite senkrecht darauf ist, so geben diese in p die Nachbilder $\gamma\gamma$ und $\delta\delta$, welche ihren Objectlinien parallel sind.

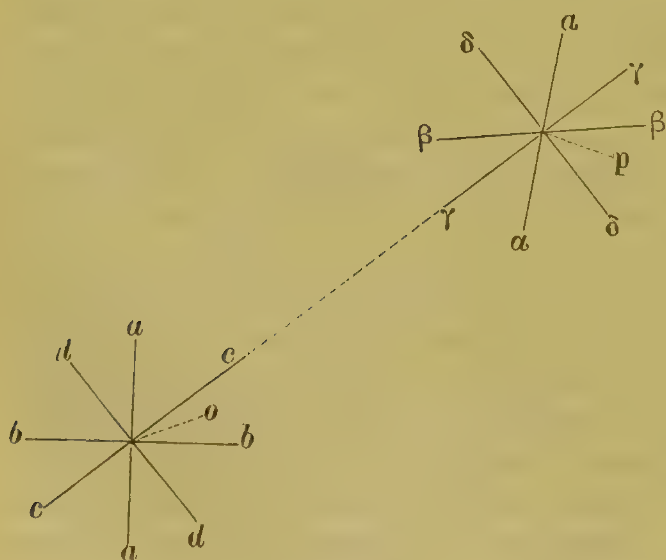


Fig. 201.

Bei den von mir untersuchten Augen schien dieses Gesetz mit desto öfserer Schärfe erfüllt zu sein, je weniger kurzsichtig sie waren.

In dem in *Fig. 201* angedeuteten Versuche ergiebt also die Beobachtung, ıſs sich die Linien $\delta\delta$ und $\gamma\gamma$, wenn der Blick nach p gewendet ist, auf enselben Netzhauttheilen abbilden, auf denen sich dd und cc abbilden, enn der Blick nach o gewendet ist. Fragt man nun, um was für eine otationsaxe der Augapfel gedreht werden müsse, um aus der ersten Lage die zweite überzugehen, so ergiebt sich leicht, dafs die Axe parallel den inien dd und $\delta\delta$ sein müsse, und daher senkrecht zu der durch op und en Drehpunkt gelegten Ebene. Denkt man sich diese letztere Ebene in ster Lage zum Augapfel, so wird ihre Lage nicht geändert, wenn sie mit em Augapfel um eine zu ihr normal gerichtete Axe gedreht wird. Ihre hnittlinie mit der Ebene der Zeichnung op bleibt deshalb bei solcher ewegung ebenfalls ungeändert, und diese Schnittlinie, zu deren Theilen ich cc und $\gamma\gamma$ gehören, bildet sich dabei immer auf den gleichen Netzhaut-eilen ab, wie es die Ergebnisse des Versuchs erfordern. Denkt man aber ırch die Axe und die ihr parallele Linie dd eine Ebene gelegt, und diese n die Axe gedreht, so wird auch nach der Drehung die Schnittlinie $\delta\delta$ eser Ebene und der Ebene der Zeichnung parallel der Axe und also auch rallel der Linie dd bleiben müssen. Denn wenn eine Ebene durch eine rade Linie (Rotationsaxe) geht, welche einer andern Ebene (der Ebene der ichnung) parallel ist, so ist auch die Schnittlinie beider Ebenen der nannten Linie (Rotationsaxe) parallel.

Wir können also das Bewegungsgesetz parallel gerichteter normal-chtiger Augen folgendermafsen aussprechen: Wenn die Blicklinie aus rer Primärstellung übergeführt wird in irgend eine andere ellung, so ist die Raddrehung des Augapfels in dieser zweiten ellung eine solche, als wäre er um eine feste Axe gedreht orden, die zur ersten und zweiten Richtung der Blicklinie nkrecht steht.

Dieses Gesetz der Augenbewegungen ist in dieser Weise zuerst von STING aufgestellt worden und wird deshalb nach ihm benannt.

Es ist dabei nicht nöthig, dafs die Bewegung des Blicks aus der ersten die zweite Richtung wirklich längs einer geraden Linie vor sich geht, er dafs der Augapfel wirklich um eine constant bleibende Rotationsaxe dreht wird, sondern die Ueberführung aus der ersten in die zweite Stellung 467
nn auf beliebigem Wege geschehen; nach dem Gesetze von DONDERS wird endliche Stellung doch immer die gleiche sein, und die Richtigkeit von sem DONDERS'schen Gesetze läfst sich wiederum in der Art erweisen, dafs n die Ueberführung des Blicks absichtlich auf verschiedenen Wegen vor-nmt und sich durch die Congruenz des Nachbildes $\gamma\gamma$ mit der Linie op n der Identität der schliefslich eingetretenen Raddrehung des Auges erzeugt.

Doch ist dabei allerdings zu bemerken, dafs im ersten Augenblicke, wo Blicklinie nach ausgiebigen Bewegungen an dem neu gewählten Fixations-

punkte angekommen ist, zuweilen noch eine etwas abweichende Stellung de Nachbildes zu bemerken ist, die aber schon nach einer oder zwei Secunde in die normale übergeht.

Wenn man nach dem durch solche Versuche bestätigten Gesetze vo Listing die Gröfse des Rotationswinkels γ berechnet, ausgedrückt durch de Erhebungswinkel α, und die Seitenwendung β, so findet man folgende Gleichung

$$- \text{tang. } \gamma = \frac{\sin \alpha \sin \beta}{\cos \alpha + \cos \beta}$$

oder für logarithmische Rechnung geeigneter

$$- \text{tang. } \left(\frac{\gamma}{2}\right) = \text{tang. } \left(\frac{\alpha}{2}\right) \text{ tang. } \left(\frac{\beta}{2}\right).$$

In der folgenden Tabelle sind die Werthe des Drehungswinkels von 5 zu 5 Graden der beiden andern Winkel berechnet.

Seiten-wendung	Erhebungswinkel							
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
5°	0° 13′	0° 26′	0° 40′	0° 53′	1° 7′	1° 20′	1° 35′	1° 49′
10°	0° 26′	0° 53′	1° 19′	1° 46′	2° 13′	2° 41′	3° 10′	3° 39′
15°	0° 40′	1° 19′	1° 59′	2° 40′	3° 21′	4° 2′	4° 45′	5° 29′
20°	0° 53′	1° 46′	2° 40′	3° 34′	4° 29′	5° 25′	6° 22′	7° 21′
25°	1° 7′	2° 13′	3° 21′	4° 29′	5° 38′	6° 48′	8° 0′	9° 14′
30°	1° 21′	2° 41′	4° 2′	5° 25′	6° 48′	8° 13′	9° 39′	11° 8′
35°	1° 35′	3° 10′	4° 45′	6° 22′	8° 0′	9° 39′	11° 21′	13° 6′
40°	1° 49′	3° 39′	5° 29′	7° 21′	9° 14′	11° 8′	13° 6′	15° 5′.

Für diejenigen Bewegungen des Blicks also, welche von der Primärlage anfangen, und in irgend eine andere Lage überführen, ist nach dem Listingschen Gesetze die Drehungsaxe immer gelegen in einer Ebene, die zur Blicklinie senkrecht ist. Es gehe diese Ebene der Drehungsaxen durch AA, *Fig. 202* normal zu OB, der Blicklinie. Eine zweite Ebene, $\mathfrak{A}$, welche in der Primärstellung der Auges mit der Ebene AA zusammenfällt, denke man sich durch den Augapfel gelegt und mit diesem fest verbunden. Wenn nun die Blicklinie OB in eine Secundärstellung OF gebracht ist, hat $\mathfrak{A}$ eine andere Lage als AA, nämlich CC. Um von dieser ersten Secundärstellung in irgend welche andere Stellungen überzugehen, kann man das Auge nun wieder um feste Axen drehen, die auch alle in einer und
468 derselben Ebene liegen, und zwar in derjenigen

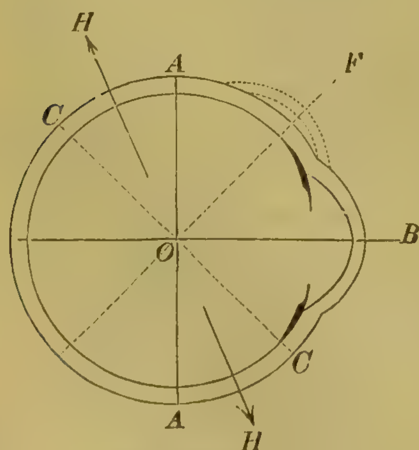


Fig. 202.

Ebene, welche den Winkel der Ebenen *AA* und *CC* halbirt, die ılso die Ebene der Zeichnung rechtwinklig in der Linie *HH* schneidet. Es st dies die Ebene der Drehungsaxen für die betreffende Secundärstellung ler Blicklinie *OF*.

Endlich um von irgend einer Stellung *a* des Augapfels in eine andere tellung *b* überzugehen, construire man die Ebenen der Drehungsaxen für ie beiden Stellungen *a* und *b*. Die Schnittlinie beider Ebenen ist die Axe, m welche man das Auge zu drehen hat, um es von *a* nach *b* überzuführen.)enn es ist evident, dafs diese Axe beiden Ebenen angehören mufs, da ıan dieselbe Bewegung auch von *b* nach *a* machen kann, und die betreffende)rehungsaxe sowohl den Bedingungen der von *a* als der von *b* ausgehenden ewegungen genügen mufs, d. h. in den beiden Blickpunkten zugehörigen benen der Drehungsaxen liegen mufs.

Bei den bisher geprüften normalsichtigen oder schwach kurzsichtigen ugen bewährte sich die Richtigkeit des Listing'schen Gesetzes mit grofser enauigkeit für alle parallelen Stellungen beider Blicklinien. Die Methode er Nachbilder erlaubt bei guter Ausführung die Stellung des Augapfels bis ıf etwa einen halben Winkelgrad genau zu bestimmen. Eine andere Methode, elche auf der Vergleichung der Bilder beider Augen beruht, und die zuerst n Meissner angewendet und später von Volkmann weiter ausgebildet ist, laubt noch genauere Bestimmungen bis auf etwa $^1/_{10}$ Grad herab zwar nicht r die Stellung jedes einzelnen Augapfels, aber doch für die Differenzen der ellung beider Augen. Versuche nach dieser Methode, deren Ausführung ıten näher beschrieben wird, zeigen für meine eigenen Augen in den ıfsersten peripherischen Stellungen nach oben und unten Abweichungen vom sting'schen Gesetz, die für jedes einzelne Auge nur neun Winkelminuten tragen. Volkmann fand für seine etwas kurzsichtigeren Augen Maximal-weichungen beim Blick schräg nach unten rechts und links bis zu 54 Minuten r beide Augen zusammen, was auf jedes einzelne etwa 27 Minuten ausmacht. ärker kurzsichtige Augen, wie die von Hrn. Dr. Berthold zeigten aber ırkere Abweichungen namentlich in den peripherischen Stellungen nach oben d unten, die wahrscheinlich mit mechanischen Hindernissen in der Bewegung s nach hinten verlängerten kurzsichtigen Augapfels zusammenhängen werden.

Die bisherigen Angaben beziehen sich auf parallele Stellungen beider icklinien. Merkliche Abweichungen davon, bei verschiedenen Individuen von rschiedener Gröfse, treten nun nach der Entdeckung von Volkmann ein, nn die Blicklinien convergent gestellt werden zur Betrachtung eines nahen genstandes. Bei Volkmann's eigenen Augen bringt Convergenz auf die nkte einer in 30 Centimeter vor den Augen liegenden Ebene eine gleich-ıfsige Vermehrung der Divergenz der scheinbar verticalen Meridiane beider gen von zwei Grad hervor, wenn man sie vergleicht mit der Divergenz, 469
lche die genannten Meridiane nach dem Listing'schen Gesetze hätten en sollen, unter Voraussetzung derselben Divergenz und derselben Primär-e, welche bei parallelen Augenstellungen gefunden waren. So weit also

der Einflufs der Convergenz sichtbar wird in der veränderten Differenz de Stellung beider Augen, könnte man für VOLKMANN's Augen sich vorstellen dafs dieselben in Convergenz eine tiefere Primärstellung haben, oder daf die Drehung des Auges in der Primärstellung, welche wir als Nullpunkt de Raddrehungen betrachten, verändert ist. Diese Veränderung nimmt zu mi steigender Convergenz.

Für meine eigenen Augen ist diese Drehung durch Convergenz in de mittleren Theilen des Gesichtsfeldes viel geringer als bei VOLKMANN, nämlic nur $^1/_9$ der Gröfse, die sie bei jenem hat, so dafs sie mir bei den Nach bildversuchen verborgen blieb; sie geschieht übrigens in demselben Sinne Dagegen fand ich bei Nachbildversuchen, dafs in den peripherischen seitliche Richtungen des Blicks durch Convergenz Abweichungen des Nachbildes vo 2^0 bis $2^1/_2{}^0$ eintreten auch in dem Sinne, als wäre die Primärstellung meine Augen für die Convergenzstellungen ein wenig tiefer zu nehmen, als für di Parallelstellungen. In *Fig. 203* bezeichnen die kurzen dicken Striche di Lage der Nachbilder für convergente Augen stellungen, aber mit übertriebener Gröfs der Abweichung. Die Objecte jener Nach bilder hatten im Centrum gelegen un waren den ausgezogenen Radien des Ge sichtsfeldes parallel gewesen, so dafs ihr Nachbilder bei parallelen Gesichtslinie auch in den genannten Radien liege geblieben wären. Bei *cd* sind die Ab weichungen am deutlichsten, bei *fg* klei und unsicher.

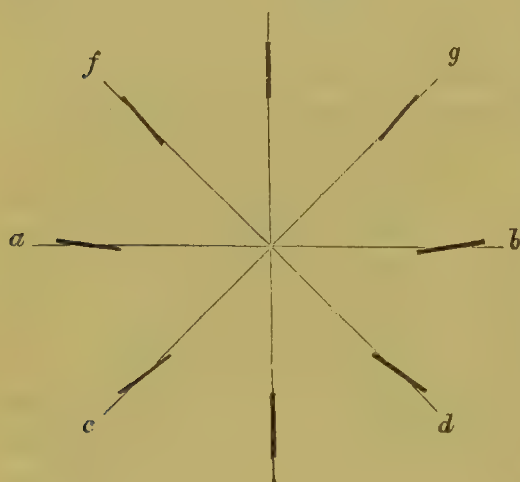


Fig. 203.

Herr DASTICH, dem die übrigen ent sprechenden Beobachtungen sehr gut ge langen, konnte gar keinen Einflufs de Convergenz bei seinen Augen finden. Ueber die Gröfse dieses Einflusse bei verschiedenen Individuen sind also noch weitere Untersuchungen nöthig

Ueberhaupt mufs ich bemerken, dafs für meine Augen sich eine gewiss Veränderlichkeit der Drehungen herausstellt. Die Primärstellung liegt a einem Tage ein wenig höher, am andern tiefer, und verändert sich sogai während ich eine Reihe von Versuchen ausführe. Namentlich für di peripherischen Richtungen des Blicks, die mit einiger Anstrengung verbunde sind, finde ich zuweilen merklich verschiedene Stellungen in unmittelbar au einander folgenden Versuchen und trotz möglichster Gleichartigkeit ihre Ausführung. Man mufs also von dem Auge nicht ganz dieselbe Präcisio der Bewegung erwarten, wie von einem physikalischen Apparate, wenn auc normale Augen unter gewöhnlichen Bedingungen ziemlich genau dem DONDERS schen und LISTING'schen Gesetze folgen.

470 Endlich ist noch der Antheil zu bestimmen, den die einzelnen Augen muskeln an den einzelnen normalen Bewegungen des Auges zu nehme

ben. Wie oben (S. 43) schon bemerkt ist, drehen der innere und äufsere ade Augenmuskel, für sich wirkend, das Auge um eine verticale Axe; die e für die Drehung durch den unteren und oberen geraden Muskel liegt h den Bestimmungen von RUETE horizontal, mit dem inneren Ende nach n sehend, unter einem Winkel von etwa 70° mit der Blicklinie; die Axe den oberen und unteren schiefen Muskel liegt ebenfalls horizontal, das sere Ende nach vorn sehend, unter einem Winkel von etwa 35° mit der klinie. Drehungen um die verticale Axe des inneren und äufseren geraden skels entsprechen dem Gesetze von LISTING, diese Muskeln können also h isolirt angewendet werden. Dagegen würden Drehungen um die beiden ern Axen dem LISTING'schen Gesetze nicht entsprechen. Um für eine vegung nach oben eine horizontal von rechts nach links gerichtete hungsaxe zu erhalten, mufs man eine Drehung durch den *Rectus superior* einer durch den *Obliquus inferior* verbinden; für eine Drehung h unten den *Rectus inferior* mit dem *Obliquus superior*. Es ist bekanntes mechanisches Gesetz, dafs man für kleine Drehungen Drehungsaxen nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte zu-mensetzen kann, wobei die Gröfse der Drehung die Intensität der Kraft räsentirt, und alle Drehungen, die vom Mittelpunkt aus gesehen nach hts herum (wie der Zeiger einer Uhr) vor sich gehen, also positiv, die gegengesetzten als negativ gerechnet werden. In *Fig. 204* ist ein hori-aler Querschnitt des Auges gezeichnet mit Drehungsaxen, wobei die positiv zu rech-den Enden der Axen mit den Anfangs-hstaben der betreffenden Muskeln, *Obliquus rior* und *inferior*, *Rectus superior* und *rior* bezeichnet sind. Aufserdem ist die n dem LISTING'schen Gesetz geforderte izontalaxe *O U* für die Bewegungen nach n und unten angegeben; der Buchstabe *O* eichnet das positive Ende der Axe für die ung nach oben, *U* für die nach unten. Zeichnung entspricht dem linken Auge oben gesehen, oder dem rechten von n.

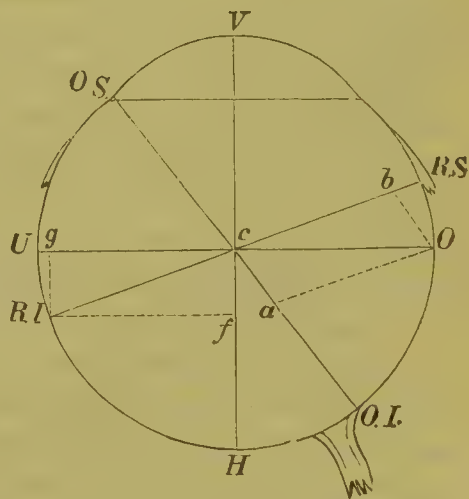


Fig. 204.

Wenn nun das Linienstück *c b* der Gröfse der Drehung durch den *Rectus rior* proportional ist, *c a* der durch den *Obliquus inferior*, so bezeichnet als Diagonale des Parallelogramms *c b Oa* die Drehung der gemeinsamen ungsaxe und ist der Gröfse dieser Drehung proportional. Es erhellt dieser Figur, dafs bei derjenigen Lage, welche die Axen bei geradeaus htetem Auge haben, die resultirende Drehungsaxe *U O* der Axe der effenden beiden geraden Augenmuskeln näher liegt, als derjenigen der fen Muskeln. Dadurch wird denn die Seite *b c* des Parallelogramms er als *c a*, das heifst der betreffende gerade Muskel mufs eine stärkere

Anstrengung machen, als der mitwirkende schiefe Muskel. Wenn sich der
471 Augapfel aber nach innen dreht, nähert sich die der veränderten Sehstellung zugehörige Drehungsaxe $U\,O$ mehr der Axe der schiefen Muskeln, so dafs bei Convergenz der Augen die letzteren verhältnifsmäfsig mehr in Anspruch genommen werden müssen als bei Parallelismus der Blicklinien.

Es ist hierbei zu bemerken, dafs die Augenmuskeln alle einen ziemlich breiten Ansatz am Augapfel haben, wobei ihre Fasern sich sogar etwas fächerförmig ausbreiten. Dies hat zur Folge, dafs selbst wenn der Augapfel sich ziemlich bedeutend aus seiner Primärstellung gedreht hat, doch die Drehungsaxen für die einzelnen Muskeln ihre Lage im Raume nicht erheblich verändern. Nehmen wir als Beispiel den *Rectus superior* und *inferior*, welche sich oberhalb der Hornhaut, etwa 7 Millimeter von deren Rande entfernt inseriren (*Fig. 1* bei *m* und *n* S. 5), so spannen sich, wenn das Auge nach innen gedreht ist, bei der Verkürzung des Muskels vorwiegend die Fasern der Sehne, welche nach dem äufseren Rande der Hornhaut hin gerichtet sind, weil diese am meisten verlängert sind. Man kann sich davon an Präparaten des Augapfels mit seinen Muskeln leicht überzeugen. Wenn sich das Auge nach aufsen dreht, wirken dagegen hauptsächlich die inneren Stränge beider Sehnen. So bleibt die Richtung des Muskelzuges dieselbe trotz der veränderten Stellung des Auges.

Diese aus der Anordnung der Muskeln gezogenen Schlüsse werden bestätigt durch die Erfahrungen, welche bei krankhafter Lähmung einzelner Muskeln beobachtet worden sind. Wenn zum Beispiel der obere schiefe Muskel gelähmt ist, so kann der innere gerade Muskel, allein wirkend, das Auge noch nach unten wenden. Aber Drehung um die Axe $R\,I$ giebt nicht blofs eine resultirende Drehung nach der Axe $C\,U$, entsprechend der Länge $c\,g$ in *Fig. 204*, wie sie verlangt wird, sondern auch eine kleinere, entsprechend der Länge $c\,f$, nach der Axe $C\,H$, welche also einer negativen Drehung, einer Drehung nach links herum um die Blicklinie, entspricht. Dabei erleiden dann die Objecte im Gesichtsfelde eine Scheindrehung nach rechts herum wie der Zeiger einer Uhr.

Für die Bewegungen aus der Primärstellung in schräger Richtung auf- oder abwärts mufs eine Componente nach der Axe $U\,O$ mit einer verticalen Componente verbunden werden. Um nach innen und oben zu drehen, brauchen wir also den *R. internus*, der nach innen dreht um die verticale Axe, zugleich mit dem *R. superior* und *Obl. inferior*, die vereinigt nach oben drehen um die Axe $U\,O$.

Mittelst des Schemas in der *Fig. 204* lassen sich diese Combinationen leicht übersehen, sonst sind für die bequemere Uebersicht derselben drehbare Modelle des Auges construirt, Ophthalmotrope, deren Beschreibung unten folgen wird.

Abgesehen von den bisher besprochenen Beschränkungen der Bewegung jedes einzelnen Auges, sind nun auch die Bewegungen unserer beiden Augen in gewisser Weise sowohl von einander abhängig, als auch die Accommodation

n der Augenstellung abhängig ist. Unter den gewöhnlichen Verhältnissen normalen Sehens richten wir immer beide Blicklinien auf einen im ume vor uns liegenden reellen Punct, welcher nah oder weit entfernt sein in. In diesem Punkte, dem Blickpunkte, schneiden sich beide Blick-en. Trotzdem jedes Auge einen ganz selbständigen Muskelmechanismus und also die Möglichkeit besitzt, jede Art der Bewegung ganz unab- 472
igig von dem anderen Auge auszuführen, so haben wir doch nur gelernt, jenigen Bewegungen wirklich auszuführen, welche nöthig sind, um einen llen Punkt deutlich und einfach mit beiden Augen zu sehen. So können beide Augen gleichzeitig gehoben werden, um einen hoch gelegenen kpunkt zu fixiren; sie können auch beide gleichzeitig gesenkt werden, ein tief gelegenes Object anzublicken. Wir sind aber ohne weitere fsmittel nicht im Stande, willkührlich das eine nach oben, das andere nach en zu richten, wobei sich die Blicklinien in keinem reellen Blickpunkt neiden würden.

Wir können ferner beide Blicklinien nach rechts oder beide nach links iden, um beziehlich einen rechts oder links gelegenen Gegenstand zu rachten. Wir können sie auch convergent machen, indem wir die rechte h links, die linke nach rechts wenden, wenn wir einen nahen Fixations-kt wählen. Aber Jemand, der sich nicht schon besonders darauf eingeübt kann die Blicklinien nicht divergent machen, indem er die rechte nach hts, die linke nach links wendet.

Endlich folgt auch bei normalen Augen die Accommodation immer der fernung desjenigen Gegenstandes, auf welchen die Blicklinien convergiren. parallelen Blicklinien sind die Augen für unendliche Ferne eingerichtet, convergirenden für die Nähe, und sind desto stärker accommodirt, je ker die Convergenz ist. Kurzsichtige Augen sind dagegen für ihren hpunkt accommodirt, so lange die Blicklinien auf ihn oder auf einen n entfernteren Punkt convergiren. Für nähere Blickpunkte folgt die omomdation der Convergenz. Sehr kurzsichtige Augen können aber ohne le oft gar nicht mehr binocular fixiren und accommodiren.

Obgleich nun der Zwang, beide Augen übereinstimmend zu bewegen auch die Accommodation damit in Uebereinstimmung zu bringen, beim nalen Sehen so unausweichlich erscheint, dafs ältere Physiologen diese egungen in die Klasse der unwillkürlich eintretenden Mitbewegungen neten, so läfst sich doch zeigen, dafs die Gesetzmäfsigkeit dieser Ver-ungen nur auf Einübung beruht. Man mufs dabei im Allgemeinen hten[1], dafs die Intention unseres Willens bei allen willkürlichen Be-ungen sich immer nur auf die Erreichung eines direct und deutlich nehmbaren äufseren Erfolges bezieht. Bei den Bewegungen unserer emitäten können wir allerdings durch den Gesichtssinn die Stellung rnehmen, in welche das Glied durch eine gewisse Willensaction versetzt

[1] S. oben § 26. S. 587.

wird, und deshalb ist für sie und für alle durch das Gesicht und Geta wahrnehmbaren Theile des Körpers die Stellung des zu bewegenden The der nächste bewufste Zweck der darauf gerichteten Willensactionen. B allen nicht sichtbaren und nicht fühlbaren Theilen des Körpers ist es ab nicht die Stellung und Bewegung, sondern erst der durch diese zu erreichen Erfolg, den wir durch eine willkürliche Action zu erreichen wifsen. So g brauchen wir unseren Kehlkopf und die Theile unseres Mundes mit ein bewundernswürdigen Sicherheit und Geschicklichkeit, um die zartesten Ve änderungen der Tonhöhe und Klangfarbe unserer Gesangs- und Sprachlau hervorzubringen, und doch weifs der Laie gar nicht, und der Physiologe unvol
473 kommen genug, was für Bewegungen wir eigentlich dabei ausführen. Hi bezieht sich also die Willensintention nur auf den hervorzubringenden To nicht auf die Bewegung der einzelnen Theile des Kehlkopfs, und wir hab gelernt, alle diejenigen Bewegungen des Kehlkopfs auszuführen, die für ein solchen Zweck nöthig sind, aber keine anderen.

Aehnlich ist es mit den Augen; wir können ihre Bewegungen nic selbst sehen, aufser wenn wir vor einem Spiegel stehen; wir können sie au nur sehr unvollkommen fühlen. Aber wir nehmen sehr deutlich wahr d Verschiebung der optischen Bilder auf der Netzhaut, oder vielmehr das en sprechende Wandern des Blickpunktes im Gesichtsfelde, wenn wir Bewegu gen mit den Augen machen. Dies ist also auch die Wirkung, auf die unse Willensintention gerichtet ist, und welche wir willkürlich zu erreichen wisse Wenn wir wünschen, dafs Jemand, der noch nicht über seine Augenbew gungen zu reflectiren gelernt hat, die Augen nach rechts wenden soll, s müssen wir ihm nicht sagen: „Wende dein Auge nach rechts“, sondern „Sie jenen rechts gelegenen Gegenstand an“. Und selbst der Geübte beherrsc seine Augenbewegungen sicherer, wenn er entsprechende Gegenstände zu Fixation wählt, als wenn er eine bestimmte Stellung der Augen ohne solch Fixation einhalten will. Ich kenne einen ausgezeichneten und in der Opti höchst erfahrenen und geübten Physiker, dem es unmöglich ist, seine Gesichts linien parallel zu stellen, wenn er nicht sehr ferne Objecte vor sich ha oder Doppelbilder aus einander zu treiben, wenn er nicht ein passende Fixationsobject dazu hat, und auch dann sie schwer auseinanderhält, sobal er auf sie zu achten anfängt. Ich führe dies Beispiel an, weil es zeig welches der Zustand des natürlichen Auges ist, mit dem noch keine physio logischen Experimente angestellt sind, und welches noch nicht gelernt ha über seine Stellungen zu reflectiren, trotzdem daneben vollständige Einsic in die Theorie des Sehens vorhanden ist.

Unsere Willensintention beim Gebrauche der Augen ist also darauf ge richtet, nach einander einzelne Punkte des Gesichtsfeldes möglichst deutlic mit beiden Augen zu sehen; dies wird erreicht, wenn wir das betreffend Object in beiden Augen auf dem Centrum der Netzhautgrube abbilden, un wir haben dem entsprechend gelernt, unsere beiden Augen so zu stellen un so zu accommodiren, dafs dies geschieht. Andere Bewegungen mit de

Augen auszuführen, welchen kein solcher Zweck des möglichst deutlichen Sehens zu Grunde liegt, auf den unser Willen sich richten könnte, haben wir nicht gelernt.

Es scheint mir damit zusammenzuhängen, dafs wir leichter parallele, ja selbst divergente Stellungen der Blicklinien hervorbringen beim Sehen nach oben, wo sich der Horizont und der Himmel darzubieten pflegt, convergente leichter beim Sehen nach unten, wo der Fufsboden und die Objecte, welche man in den Händen hält, zu betrachten sind.

Indem man aber nun die Art der Willensanstrengung kennen lernt, welche für Erreichung der verschiedenen Augenstellungen als solcher dient, kann Jemand, der viel physiologisch-optische Versuche anstellt, allmählig auch lernen, zunächst solche normale Augenstellungen hervorzubringen, für welche zur Zeit kein Fixationsobject vorhanden ist, indem man gleichsam nach einem 474
imaginären Fixationsobjecte blickt. Wenn man sich also zum Beispiel nahe vor dem Nasenrücken ein solches Object vorstellt, oder gleichsam nachsucht, ob keines dort vorhanden sei, kann man so starke Convergenz hervorbringen, dafs die Augen wie die eines Schielenden aussehen. Und umgekehrt kann man nahe Gegenstände mit parallelen Gesichtslinien betrachten, wenn man durch sie hin in die Ferne zu sehen sucht, oder wenn man, wie das Volk sagt, nach ihnen hingewendet „in das Blaue stiert“, das heifst die Art von Blick annimmt, welche einzutreten pflegt, wenn man in Gedanken versunken gar nicht auf die Gegenstände achtet, die man vor sich hat, wobei denn die Accommodationsanstrengung nachläfst, ebenso die entsprechende Convergenzstellung, und die Augen ihre Fernstellung annehmen.

Geht man von Convergenzstellungen zur parallelen Stellung der Blicklinien über, ohne ein bestimmtes einzelnes Object zu fixiren, und übertreibt man die zu diesem Uebergange nöthige Anstrengung, so bringt man auch schwache Divergenzstellungen heraus.

Die Fähigkeit, jeder Zeit und ohne entsprechendes Object Convergenzstellungen und Parallelstellungen der Blicklinien hervorbringen zu können, ist für Jeden, der sich mit physiologisch-optischen Untersuchungen beschäftigen will, von grofser Wichtigkeit, und mufs geübt werden.

Dann aber kann man nun auch, freilich zunächst nur in geringerem Grade, diejenigen Combinationen von Augenstellungen hervorbringen, welche beim gewöhnlichen Sehen nicht vorkommen. Um es zu thun, braucht man nur die Augen unter solche Bedingungen zu versetzen, dafs nur durch Abweichung von den normalen Stellungen einfache und deutliche Bilder herzustellen sind.

Was zunächst die Verbindung zwischen Convergenz und Accommodation betrifft, so wird diese sogleich verändert, wenn man eine Brille aufsetzt. Normalsichtige Augen zum Beispiel, welche eine Brille mit schwachen Concavgläsern vorsetzen, sind gezwungen, um entfernte Gegenstände deutlich zu sehen, bei parallel gerichteten Blicklinien doch für die Nähe zu accommodiren. Ist die Brille nicht zu stark, so ist es auch sogleich möglich, die Augen

dieser neuen Aufgabe anzupassen, obgleich die Augen dabei das Gefühl ungewöhnlicher Anstrengung haben und bald ermüden. Daher denn überhaupt der Gebrauch einer Brille in der ersten Zeit, wo man sie zu tragen beginnt, immer mit einer merklichen Anstrengung verbunden ist, und umgekehrt Leute, die lange Zeit eine Brille getragen haben, wenn sie sie abnehmen, einen angestrengten und gleichsam scheuen Blick zeigen, selbst für solche Gegenstände, für welche sie accommodiren können. Es ist dies eine allgemeine Erfahrung, dafs wir gut eingeübte Gruppenbewegungen mit viel geringerer Anstrengung ausführen, als ungeübte. Man denke daran, welche Anstrengung ein ungeübter Schwimmer oder ein ungeübter Schlittschuhläufer aufwenden, um fort zu kommen, und wie leicht dasselbe nachher geht, wenn sie sich geübt haben. Gerade dasselbe geschieht bei den Augen, wenn wir ihre Bewegungen in ungewöhnlicher Weise combiniren sollen.

Eine veränderte Verbindung von Convergenz und Accommodation kann
475 man auch erreichen, wenn man stereoskopische Bilder betrachtet und deren Entfernung von einander willkürlich verändert. Davon werden wir unten ausführlicher handeln.

Divergenz der Augen läfst sich ebenfalls bei der Betrachtung stereoskopischer Bilder erzielen, wenn man sie immer weiter von einander entfernt und dabei ihre Vereinigung zu einem Bilde zu erhalten sucht. Ich kann auf diese Weise eine Divergenz meiner Blicklinien bis zu 8 Grad hervorbringen. Dasselbe läfst sich auch erreichen, wenn man zwei gleiche schwach brechende Glasprismen von 6 bis 8 Grad brechendem Winkel so vor beide Augen nimmt, dafs die brechenden Winkel (die dünnsten Stellen der Prismen) nach unten sehen, und durch sie nach entfernten Gegenständen blickt. Dazu braucht man bei der angegebenen Haltung der Prismen parallele Gesichtslinien, die aber etwas mehr nach unten gerichtet sind, als ohne die Prismen. Wenn man nun die Prismen langsam dreht, so dafs ihre brechenden Winkel sich beide nach aufsen zu wenden anfangen, so kann man doch noch die vorher gesehenen Gegenstände fortfahren zu fixiren und einfach zu sehen. Man mufs dazu aber jetzt die Augen divergent stellen. Man kann dasselbe auch mit einem Prisma erreichen, wenn man dasselbe mit dem brechenden Winkel nach aufsen vor ein Auge hält, und zuerst nahe Gegenstände betrachtet, welche unter diesen Umständen noch convergente oder parallele Blicklinien erfordern, und dann allmählig zu entfernteren Objecten übergeht, welche Divergenz verlangen.

Endlich haben sowohl Donders als ich selbst beobachtet, dafs man verschiedene Erhebung beider Augen erzielen kann, wenn man ein schwach brechendes Prisma vor ein Auge nimmt, und den brechenden Winkel zuerst nach innen richtet. Blickt man so nach entfernten Gegenständen, so mufs man die Gesichtslinien etwas convergent stellen, was ohne Schwierigkeit zu erreichen ist. Jetzt drehe man das Prisma ganz langsam so, dafs der brechende Winkel allmählig immer weiter nach unten rückt, und suche die Fixation des Objects zu erhalten. Es gelingt dies nach einiger Uebung. I

esem Falle sieht das freie Auge den Gegenstand direct mit gerade auf ihn ngerichteter Blicklinie; das vom Prisma bedeckte Auge dagegen mufs sich erklich nach unten wenden, um den Gegenstand zu fixiren. Hat man eine lche Stellung der Augen erreicht, so nehme man das Prisma plötzlich fort, an sieht dann das fixirte Object in unter einander stehenden Doppelbildern m Zeichen, dafs die beiden Blicklinien nicht gleich hoch gerichtet sind. uch in der Richtung von oben nach unten bringe ich Abweichungen von o ohne Schwierigkeit zu Stande.

Aus diesen Thatsachen geht zweifellos hervor, dafs die Verbindung, elche zwischen den Bewegungen beider Augen besteht, nicht urch einen anatomischen Mechanismus erzwungen, sondern elmehr durch den blofsen Einflufs unseres Willens veränderlich ist, und afs wir nur in der Bildung unserer Willensintentionen beschränkt sind, sofern diese nur zu dem Zweck, einfach und deutlich zu sehen, von uns ngeübt sind.

Ich habe schon früher auf andere Erfahrungen aufmerksam gemacht, ie dasselbe beweisen, und mir auch von andern Beobachtern bestätigt orden sind. Wären die Augenbewegungen mittels eines anatomisch vorebildeten Mechanismus coordinirt, so wäre zu erwarten, dafs dieser desto 476
iderstandsloser wirken würde im Zustande der Schläfrigkeit, wo die Energie es Willens gebrochen ist. Ich beobachte indessen regelmäfsig, dafs wenn h Abends beim Lesen schläfrig werde, oder nach einem langen Diner aus ücksicht auf die Gesellschaft meine Augen offen zu halten strebe, ich oppelbilder der vor mir liegenden Objecte sehe, welche bald nur zu grofse ivergenz, bald verschiedene Höhe, bald abnorme Raddrehungen der Augen nzeigen. So wie ich durch dergleichen ungewöhnliche Doppelbilder aufnerksam gemacht mich ermuntere, gehen die Doppelbilder meist schnell ieder zusammen, und wenn ich sie dann willkürlich auseinander zu treiben uche, kommen nur die gewöhnlichen neben einander stehenden Doppelbilder u Stande, die von zu grofser oder zu geringer Convergenz für das Object errühren.[1]

Dieselbe Art von Zwang nun, welche die Bewegungen beider Augen nit einander und mit der beiderseitigen Accommodation verbindet, besteht uch betreffs der Raddrehung, die zu einer bestimmten Lage des Gesichtsunktes gehört, und es war von vorn herein zu vermuthen, dafs auch die addrehung nur deshalb unserm Willen entzogen sei, weil wir durch eine twaige Veränderung derselben keinen bestimmten praktischen und wahrnehmbaren Erfolg erzielen können. Es ist mir jetzt gelungen, die Richtigkeit lieser Annahme direct zu erweisen. Man kann nämlich auch die Raddrehung

[1] Herr E. HERING hat in seinen Beiträgen zur Physiologie, 4. Heft, S. 274, die Richtigkeit dieser Beobachtung bezweifelt. Er hat offenbar die Erscheinung, auf die es ankommt, nicht gesehen. Die zuletzt oben angeführte Beobachtung beweist, dafs ich nicht in den Irrthum verfallen bin, den er mir zuschreibt, und der von Jemandem, welcher auch nur ein wenig Uebung in der Beobachtung von Doppelbildern hat, schwerlich begangen werden kann, dafs ich nämlich wegen schiefer Kopfhaltung neben einander stehende Bilder für über einander stehend gehalten hätte.

der Augen ganz erheblich verändern, wenn man dieselben unter Umständ bringt, wo sie nur bei veränderter Raddrehung einfach sehen können.

Zu dem Ende benutze ich zwei gleichschenkelige und rechtwinkelig Glasprismen. Wenn man durch ein solches Prisma parallel der Hypotenusen fläche hindurchsieht, wie *Fig. 205* anzeigt, so wird der Lichtstrahl *a b*, w er durch die Cathetenfläche des Prisma in dieses eintritt gebrochen und gegen die Hypotenusenfläche hin abgelenkt, vo dieser bei *c* unter gleichem Winkel reflectirt, und tritt dan bei *d* wieder aus dem Prisma aus. Wenn *b* und *d* gleich wei von der Hypotenusenfläche entfernt sind, so geht der Strah *a b* nach dem Austritt aus dem Prisma in derselben Richtun fort, in der er eingetreten ist. Strahlen dagegen, welche wi *a b′* und *a b″* nicht parallel der Hypotenusenfläche auffallen und nach der Brechung von dieser (bei *c′* und *c″*) reflectir werden, treten nachher aus dem Prisma so aus, dafs de eintretende und austretende Strahl *a b′* und *d′ e′*, oder *a b′* *d″ e″* gleiche Winkel mit der Hypotenusenfläche bilden. Ei solches Prisma wirkt also unter diesen Umständen wie ei Spiegel, aber mit dem Vortheile, dafs die Richtung, in de
477 der mittlere Theil des Spiegelbildes erscheint, unveränder bleibt. Indem der Beobachter in der Richtung *a b* durch da Prisma hindurchsieht, erblickt er die jenseits liegenden Gegen stände, aber so, dafs Rechts in Links verkehrt ist, wenn di Hypotenusenfläche des Prisma senkrecht steht, oder Oben in Unten, wen sie horizontal liegt.

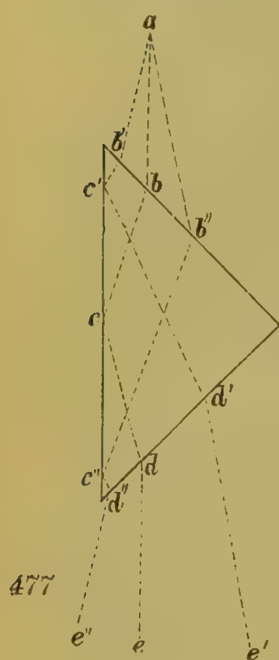


Fig. 205.

Wenn man nun den vom ersten Prisma reflectirten Strahl *de* in derselbe Weise durch ein zweites Prisma gehen läfst, und die Hypotenusenfläche beider parallel liegen, so wird die Umkehrung der Bilder, welche das erst Prisma erzeugt hatte, durch das zweite, was noch ein Mal in derselbe Weise umkehrt, wieder aufgehoben. Alle Gegenstände erscheinen durc zwei solche Prismen gesehen in ganz unveränderter Lage und Stellung Macht man aber die Hypotenusenflächen der beiden Prismen nicht gan parallel, sondern dreht das eine Prisma ein wenig um eine dem Strahl *a* parallele Axe, wie in nebenstehender *Fig. 206*, so wird die Umkehrung welche das erste Prisma hervor- brachte, durch das zweite nicht vollständig wieder aufgehoben, son- dern es bleibt eine kleine Drehung der gesehenen Gegenstände um den ungebrochenen Strahl *a e* als Axe zurück, welche doppelt so grofs erscheint, als die wirkliche Drehung des einen Prisma gegen das andere ist. Uebrigens können beide Prismen zusammen genommen, wenn sie nur gegen einander festgestellt sind, beliebig um ihren gemeinsamen Axenstrahl

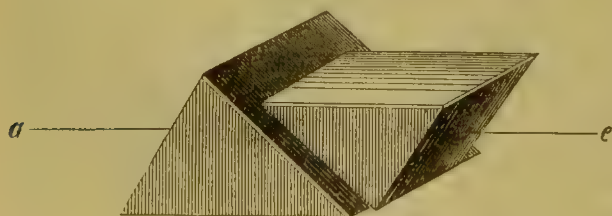


Fig. 206.

edreht werden, ohne dafs die scheinbare Lage der dadurch gesehenen Gegenände eine Veränderung erlitte.

Wenn man nun eine solche Combination zweier Prismen, welche eine heinbare Raddrehung der Objecte um die Gesichtslinie von etwa 5 Grad ervorbringt, vor ein Auge nimmt und mit beiden Augen gleichzeitig entrntere Objecte betrachtet, die eine grofse Mannigfaltigkeit verschiedener eutlich erkennbarer Theile zeigen, so sieht man anfangs, wie zu erwarten t, gekreuzte Doppelbilder[1] der Objecte, die sehr auffallend und leicht zu emerken sind. Wenn man aber fortfährt, die Objecte zu betrachten, und abei den Blick vielfach über die einzelnen ausgezeichneten Punkte derselben erumwandern läfst, welche man alle nach einander einfach sehen kann, so hwinden die Doppelbilder endlich, und man sieht vollständig einfache Bilder erade so gut, wie beim gewöhnlichen Sehen. Wenn man nun einige Minuten ng in dieser Weise einfach gesehen hat, dann das Prismensystem fortnimmt nd mit freien Augen dieselbe Objecte betrachtet, so erblickt man jetzt im rsten Moment gekreuzte Doppelbilder, die sich aber schnell wieder vereinigen.

Den Verdacht, dafs bei diesem Versuche die Doppelbilder nicht vereinigt, ondern nur übersehen werden, kann man erstlich dadurch beseitigen, dafs an in einiger Entfernung vor die betrachteten Objecte ein senkrechtes täbchen hält, welches in Doppelbildern erscheint. Diese haben dann nur die ewöhnliche schwache Neigung zu einander, die Neigung der scheinbar 478
erticalen Meridiane. Daraus folgt also, dafs die horizontalen Netzhauteridiane hinter den Prismen so eingestellt werden, dafs sie entsprechende leiche Bilder empfangen.

Ferner habe ich auch zur Controlle, während ich durch die Prismen sah, achbilder eines horizontalen Streifens in beiden Augen entwickelt, und diese, achdem ich die Prismen entfernt hatte, auf eine weifse Fläche geworfen. n ersten Augenblicke erschienen dann die Nachbilder beider Augen verchieden geneigt gegen ein und dieselbe objective Linie des Gesichtsfeldes. obald aber die Augen in ihre natürliche Stellung zurückgegangen waren, rschienen beide Nachbilder in gleicher Lage im Gesichtsfelde. War die bjective Linie, von der die Nachbilder genommen wurden, horizontal, und as rechte Auge mit einem Doppelprisma bewaffnet, welches 5° nach links rehte, so erschienen die Nachbilder beider Augen, nachdem die Prismen ntfernt und beide Augen in ihre normale Stellung übergegangen waren, twas nach links gedreht, woraus folgte, dafs beim Sehen durch das Prisma as linke Auge etwas nach rechts gedreht gewesen war, während das rechte uge, der scheinbaren Drehung des Gesichtsfelds folgend, nach links gedreht ar. Die Nachbilder beider Augen aber zeigten sich hierbei auf correspondirenden Stellen entwickelt, und daraus folgt, dafs auch correspondirende tellen beider Netzhäute das Urbild aufgenommen hatten. Aus diesen

[1] Ich verstehe hier unter gekreuzten Doppelbildern solche, die eine Raddrehung gegen einander rlitten haben.

Versuchen folgt also, dafs auch die Raddrehungen des Auges unter besondere Umständen verändert werden können, wenn nämlich abnorme Drehunge dieser Art gebraucht werden, um die Objecte eines ausgedehnten und a Einzelheiten reichen Gesichtsfeldes in ungekreuzten Doppelbildern zu sehen Die äufserste Drehung des Gesichtsfeldes, welcher ich bei diesen Versuche mit den Augen folgen konnte, betrug 7 Grad. Dabei sind nun wahrscheinlic beide Augen um gleich viel, aber in entgegengesetztem Sinne gedreht worden jedes also etwa um $3^1/_2$ Grad. Die abweichende Stellung der Augen wird dabe nicht unmittelbar durch den blofsen Anblick der Divergenz der Doppelbilde hervorgebracht, sondern erst durch eine Reihe correspondirender Bewegunge beider Augen, indem diese das Gesichtsfeld nach allen Richtungen durchlaufen, so dafs sie fortdauernd die Einheit des Fixationspunktes erhalten.

Diese Erfahrungen an den Augenmuskeln sind von grofser Wichtigkei für die Lehre von der Willkürlichkeit der Bewegungen überhaupt. Gewöhnlic stellt man sich vor, dafs die Fähigkeit, eine bestimmte willkürliche Bewegun auszuführen, gleich von vorn herein durch die Natur gegeben sei, und nich weiter gelernt zu werden brauche, aufser etwa in den Fällen, wo wie bein Gehen, Stelzenlaufen, Schlittschuhlaufen, Schwimmen ein gewisses künstliche Gleichgewicht bei der Bewegung zu erhalten oder die Wirkung anderer Naturkräfte dabei mit zu beachten sei. Es müssen aber auch für andere Bewegungen die dazu nöthigen Willensintentionen erst gelernt werden. Selbs unter den Bewegungen der am freiesten gebrauchten Glieder unseres Körpers wie zum Beispiel der oberen Extremitäten, findet man leicht Fälle der Art welche erst eine besondere Einübung erfordern, ehe man sie ausführen kann
479 So kann man zum Beispiel den horizontal ausgestreckten Arm im Schultergelenk um seine Längsaxe rollen, ebenso Radius und Hand um die Ulna Beide Rollungen werden durch Muskelgruppen ausgeführt, die ganz unabhängig von einander sind. Wir sind aber nur geübt, beide Rollungen in gleichen Sinne auszuführen, weil unsere Absicht unter gewöhnlichen Umständen nu dahin geht, die Hand in die eine oder andere Rotationsstellung zu bringen Nun kann man die Aufgabe stellen, beide Rollungen in entgegengesetzten Sinne zu machen, so dafs der Ellbogen sich dreht, die Hand aber stehen bleibt. Es ist dies eine Art der Bewegung, die keinerlei praktischen Zweck hat, und deshalb gewöhnlich niemals ausgeführt wird. Auch habe ich bishei noch Niemand gefunden, der dies auf die erste Aufforderung hätte thun können. Und doch ist diese Bewegung ebenso gut zu lernen, wie die abnormen Augenbewegungen. Man braucht nur mit der Hand einen festen Gegenstand zu fassen, und den Ellenbogen zu drehen, dann den Griff dei Hand allmählig zu lockern, und dieselbe Bewegung zu machen, bis man die Hand ganz frei lassen kann. Bei diesem Beispiele finden wir also eine ganz ähnliche Beschränkung der Willkürlichkeit in der Combination der Bewegungen, welche anfangs unüberwindlich scheint, und doch durch zweckmäfsig geleitete Einübung überwunden werden kann.

Wir haben jetzt zu untersuchen, welche Ursachen bei der Einübung der

ugenbewegungen darauf hinwirken können, dafs nur gewisse bestimmte iddrehungen mit den verschiedenen Richtungen beider Gesichtslinien ver-inden werden.

Was zuerst das Gesetz von DONDERS betrifft, wonach der Raddrehungs-inkel nur abhängt von der zeitweiligen Richtung beider Gesichtslinien, so leicht einzusehen, dafs die Einhaltung dieses Gesetzes eine wesentliche leichterung und Sicherung für die Lösung der Aufgabe gewähren mufs, otz der Augenbewegungen und trotz der Verschiebungen der Netzhautbilder, if der Netzhaut ruhende Objecte als ruhend anzuerkennen. Wir lassen iseren Blick fortdauernd im Gesichtsfelde wandern, weil wir nur so nach nander die einzelnen Theile des Gesichtsfeldes möglichst deutlich sehen önnen. Dafs wir sie mit beiden Augen möglichst deutlich sehen, wird mächst dadurch erreicht, dafs wir beide Gesichtslinien auf den zeitweilig trachteten Punkt hinrichten und die Augen für ihn accommodiren. Dabei önnten die beiden Augen noch in beliebiger Weise um die Blicklinie als xe gedreht werden, ohne dafs wir aufhören würden, mit beiden Augen den treffenden Punkt zu fixiren. Wenn wir nun in dieser Weise ein mit hhenden Objecten angefülltes Gesichtsfeld vor uns haben, so wechseln mit er Wanderung des Blicks auch fortdauernd die Empfindungen in den einzelnen ervenfasern der Netzhaut. Wenn wir zur Betrachtung eines schon früher cirten Objectes *A* zurückkehren, und nun eine andere Raddrehung der ugen brauchen wollten, als das erste Mal, so würde zwar der Eindruck es fixirten Punktes auf die beiden Netzhautgruben derselbe sein wie früher, ber die Netzhautbilder der Nachbarschaft würden eine andere Lage auf der etzhaut haben, die rings um die Netzhautgrube liegenden Nervenfasern ürden ganz andere Lichteindrücke erhalten, als das erste Mal; und um zu onstatiren, dafs das Object trotz dieses veränderten Systems von Empfindungen och dasselbe geblieben ist, müfsten wir das Auge ganz in die alte Stellung 480
ich in Bezug auf die Raddrehung zurückführen, um zu prüfen, ob dann bei erstellung der früheren Stellung auch der alte Eindruck wieder erhalten erde.

Da nun für das Erkennen der Objecte in der Regel beim natürlichen ehen dadurch nichts gewonnen wird, dafs wir sie mit veränderten Rad-rehungen ansehen, und nur die Rückkehr in eine unverändert bleibende estimmte Stellung nöthig ist, um das ruhende Object als ruhend wieder-ierkennen, so werden wir von Anfang an uns gewöhnen müssen, für bestimmte ichtungen der Gesichtslinien auch immer wieder bestimmte Grade der Rad-rehung zu gebrauchen.

Bei hinreichender Einübung auf die Kenntnifs der Veränderungen, welche ie Empfindungen der Netzhaut bei Drehung des Auges um die Blicklinie rleiden, würde es zweifelsohne auch möglich werden, die unveränderte Lage er Objecte trotz des veränderten Netzhautbildes richtig zu beurtheilen. ber es würde dies eine neue und grofse Complication in der Einübung nseres Auges für die Gesichtswahrnehmungen sein, welche gar keinen

Vortheil bringen würde, und der wir deshalb von vornherein aus dem Wege gehen.[1]

Durch dieses Princip, welches ich das Princip der leichtesten Orientirung für die Ruhestellungen des Auges genannt habe, wird zunächst verlangt, dafs jeder bestimmten Richtung beider Gesichtslinien bestimmte Werthe der Raddrehung beider Augen zugehören, aber es wird noch nicht bestimmt, welche Werthe zu nehmen seien.

Bisher haben wir nur den Fall untersucht, wo dasselbe Object zwei Mal nach einander direct angeblickt wurde; nun ist noch zu fordern, dafs ein ruhendes Object als ruhend erkannt werde, wenn es einmal direct und dann indirect betrachtet wird.

Wir wollen die Untersuchung zunächst für ein einziges, isolirt gedachtes Auge führen, und später zusehen, welche Veränderungen bei der Verbindung mit einem zweiten Auge einzutreten haben. Wir beschränken uns ferner auf die Annahme unendlich kleiner Verschiebungen des Auges; denn wenn die Anerkennung der Ruhe des Objects erhalten bleibt während der unendlich kleinen Verschiebungen, die während der unendlich kleinen Zeittheilchen einer ausgedehnteren Bewegung stattfinden, so ist diese Anerkennung auch am Ende der Bewegung erhalten.

Wir wollen eine Anzahl von Netzhautpunkten mit *a*, *b*, *c*, *d* u. s. w. bezeichnen, und es möge *a* das Centrum der Netzhautgrube sein. Die Punkte des Bildes, welche auf diese Netzhautpunkte fallen, bezeichnen wir mit *A*, *B*, *C*, *D*. Der Punkt *A* des Bildes ist also fixirt; der Punkt *B* sei von *A*, also auch *b* von *a* nur um eine verschwindend kleine Gröfse entfernt. Jetzt
481 gehe der Blick vom Punkte *A* des Bildes über auf den Punkt *B*, so dafs jetzt *B* auf dem Centrum *a* der Netzhaut abgebildet sei. Dabei werden die Punkte *A*, *C*, *D* u. s. w. des Bildes auf andere Netzhautpunkte fallen, die wir mit α, γ, δ u. s. w. bezeichnen wollen. Während also die frühere Empfindung des Punktes *b* übergeht auf *a*, geht die Empfindung, welche *a* hatte, über auf α, die von *c* auf γ, die von *d* auf δ u. s. w. Wenn nun dasselbe System von Empfindungsänderungen immer wieder eintritt, so oft wir die Empfindung, welche *b* hatte, durch einen Willensimpuls, der Bewegung zur Folge hat, übergehen lassen auf *a*, so werden wir lernen, diesen Inbegriff von Aenderungen als sinnlichen Ausdruck einer Augenbewegung zu betrachten, dem keine Aenderung in den Objecten entspricht. Die Probe dafür wird sein, dafs wir wiederum in jedem beliebigen Zeitmomente *A* fixiren können und dann das erste System von Empfindungen unverändert wiederfinden. Es kommt aber eben darauf an, dafs wir, auch ohne diese Probe anzustellen

---

[1] Ich habe früher (Archiv für Ophthalmologie, IX, 2, 156—157) noch hinzugefügt, dafs auch die Lage der Objecte im Raume richtig beurtheilt werden sollte. Dagegen hat Herr E. HERING den Einwand gemacht, dafs die Beurtheilung der Lage durch die Raddrehungen der Augen überhaupt gestört werde. In gewissen, aber freilich viel beschränkteren Fällen, als Herr HERING meint, ist das richtig, wie der nächste Abschnitt lehren wird, und deshalb habe ich die Orientirung über die wirkliche Lage der Objecte in der oben gegebenen Ableitung aus dem Spiele gelassen, und mich auf das Wesentliche beschränkt, dafs ruhende Objecte als ruhend anerkannt werden.

hrend wir B fixiren, lernen, dafs die beobachtete Aenderung keine nderung der Objecte ist.

Damit nun jedes Mal, wenn die Fixation übergeht auf den dem Netz- tpunkte b correspondirenden Punkt des Gesichtsfeldes, auch gleichzeitig las bisherige Bild von a, γ das von c, δ das von d u. s. w. empfange, es nöthig, dafs das Auge diese Bewegung immer durch Drehung um eine l dieselbe, in Beziehung zum Augapfel festgelegene Axe ausführe, welche mit 𝔅 bezeichnen wollen.

Nun ist b nur einer der dem Punkte a benachbarten Netzhautpunkte; möge c ein anderer von a unendlich wenig entfernter und in anderer htung als b gelegener Punkt sein, so wird eine zweite im Augapfel fest- egene Drehungsaxe ℭ existiren müssen, um den Blick in der Richtung zu verschieben, wenn diese Verschiebung immer mit der gleichen Ver- iebung des Netzhautbildes auf der Netzhaut, also mit demselben Systeme Empfindungsänderungen begleitet sein soll.

Jeden anderen Punkt F des Gesichtsfeldes in der Nähe des Fixations- iktes A werden wir mit dem Blicke alsdann erreichen können durch eine hung von gewisser sehr kleiner Gröfse um die Axe 𝔅 und durch eine zweite hung von gewisser sehr kleiner Gröfse um die Axe ℭ. Da man nun anntlich bei unendlich kleinen Drehungen die Drehungsaxen nach dem ncipe des Kräfteparallelogramms zusammensetzen kann, und die Diagonale Axen 𝔅 und ℭ immer in der durch 𝔅 und ℭ gelegten Ebene liegen fs, so folgt, dafs das Auge sich beim Blicke nach F in dieselbe Stellung igen läfst bei einer einfachen Drehung um eine einzige in der Ebene 𝔅ℭ egene Drehungsaxe, wie bei der Drehung erst um 𝔅, dann um ℭ. Und es bei der Richtung des Blickes nach F nach dem Gesetze von Donders, ches wir eben zu begründen versucht haben, immer dieselbe Richtung en mufs, auf welchem Wege es auch dahin geführt sein mag, so folgt, s der Uebergang des Blickes von A nach F oder irgend einem andern A unendlich wenig entfernten Punkte auszuführen ist durch Drehung Augapfels um eine Drehungsaxe, die immer in ein und derselben, tiv zum Augapfel fest liegenden Ebene 𝔅ℭ gelegen ist. Dies würde Bedingung dafür sein, dafs jede unendlich kleine Verschiebung des Blicks allen Fällen, wo sie eintritt, immer von einem constanten Systeme von 482 nderungen der Empfindung in den Sehnervenfasern begleitet ist, welches liefslich als der sinnliche Ausdruck der zu jener Verschiebung des Blicks örigen Augenbewegung kennen gelernt wird.[1]

---

[1] Herr E. Hering hat auf S. 274—283 seiner Beiträge zur Physiologie diese Ableitung als unhaltbar rweisen gesucht. Das Mifsverständnifs des ersten Princips, welches oben erwähnt wurde, wobei er Nebensache zur Hauptsache gemacht hat, wirkt hier weiter. Er erklärt das zweite Princip für flüssig neben dem ersten. Das ist es nicht. Denn das erste Princip bezweckt nur, dafs ruhende cte als ruhend erkannt werden, so oft die Blicklinie in dieselbe Richtung zurückkehrt, das ite, dafs sie auch bei verschiedener Richtung der Blicklinie als ruhend erkannt werden. Herr ING zeigt weiter, dafs wenn man das zweite Princip ohne das erste gebraucht, man Unsinn daraus iten kann. Ich habe aber das zweite Princip nie anders, denn als Ergänzung des ersten ange- let, auch ist es selbstverständlich, dafs dies nicht geht. Ich hoffe in der oben gegebenen Darstellung ne Ideen genauer ausgedrückt und das genannte Mifsverständnifs beseitigt zu haben.

Dafs die Drehungsaxen für irgend welche sehr kleine Verschiebunge
des Auges, die von einer bestimmten festen Stellung ausgehen, alle in ein
und derselben Ebene liegen müssen, folgt aus der eben gegebenen Betrach
tung für alle Theile des Blickfeldes, wenn die Raddrehung eine continuirlich
nicht sprungweise sich ändernde Function der Richtung der Blicklinie sei
soll. Das Princip der leichtesten Orientirung würde fordern, dafs dies
Ebene, wo möglich, relativ zum Augapfel fest wäre.

Es wird natürlich am leichtesten sein, die Veränderungen der Empfindun
bei der Bewegung des Augapfels als Ausdruck einer solchen Bewegung un
nicht einer Bewegung der Objecte zu erkennen, wenn der Uebergang de
Blicks auf den dem Netzhautpunkte *b* entsprechenden Punkt des Gesicht
feldes immer mit derselben Verrückung des Netzhautbildes auf der Netzha
begleitet wäre, unabhängig davon, welche Anfangslage der Augapfel hat. E
würde eine viel complicirtere Einübung in dem Gebrauche des Auges ve
langen, wenn die Objecte immer als ruhend erkannt werden sollten, trotzde
die genannte Verschiebung des Netzhautbildes beim Ausgange von ve
schiedenen Ausgangspunkten sich als verschieden erweisen sollte. Fi
unmöglich freilich würden wir eine Einübung der Art nicht von vorn here
erklären können. Die Erfahrung lehrt aber, wie wir sehen werden, dafs s
nicht besteht.

Die hier aufgestellte Bedingung für die leichteste Orientirung beim in
directen Sehen ist nämlich vom menschlichen Auge nicht vollständig erfül
und kann auch, wie die analytische Behandlung des Problems zeigt, welche ic
in der ersten Auflage dieses Buches gegeben habe,[1] nicht vollständig erfül
werden, ausgenommen für ein Feld, dessen Ausdehnungen gegen den Radiu
der Kugel verschwindend klein sind. Es ist schon oben angeführt worde
dafs nach dem Listing'schen Gesetze die Ebenen der Drehungsaxen b
verschiedenen Stellungen der Blicklinie auch verschiedene Lagen im Aug
haben. Davon hängen nun gewisse Gesichtstäuschungen ab, die am deu
lichsten zu beobachten sind an sehr entfernten Objecten, von deren wir
licher Lage man keine Erfahrungen hat, namentlich an den Gestirnen.[2]

Man suche sich am gestirnten Himmel drei hinreichend helle und we
von einander entfernte Sterne, die nahehin in einer geraden horizontal
Linie stehen. Wir wollen voraussetzen, sie schienen in einer geraden Lin
483 zu stehen, wenn man das Gesicht so weit erhebt, dafs die Primärstellun
der Gesichtslinien auf den mittleren Stern gerichtet ist. Dann werden di
selben Sterne eine nach unten concave Linie zu bilden scheinen, wenn ma
ihre Reihe mit dem Blicke durchläuft, während das Gesicht weniger gehob
wird, als vorher, die Augen im Kopfe also mehr; und sie werden wie ei

---

[1] H. v. Helmholtz, *Handbuch der Physiol. Optik*, 1. Aufl. S. 497–516. — Ferner: H. v. Helmhol
Über die normalen Bewegungen des menschlichen Auges. *Gräfes Arch.* 9 (2), S. 153. — In etw
erweiterter Ausführung abgedruckt in meinen *Wissenschaftlichen Abhandlungen* Bd. 2, S. 396.

[2] Bei dem früher von mir beschriebenen entsprechenden Versuche hat die Convergenz der Aug
einen eigenthümlichen Einflufs, der im nächsten Abschnitte zu besprechen ist.

h unten convexe Linie erscheinen, wenn das Gesicht mehr erhoben wird früher und die Augen im Kopfe also gesenkt werden müssen, um nach drei Sternen zu sehen. Der Grund dieser Täuschungen ist in den drehungen des Auges zu suchen. Blickt man nach dem rechten Ende Sternreihe, so sind bei gehobenem Blicke die Netzhauthorizonte gegen Visirlinie so gedreht, dafs ihre rechte Seite gehoben ist. Das rechte e der Sternenlinie erscheint dann gesenkt; eben so das linke, wenn man dem links gelegenen Sterne blickt, die ganze Linie also als concav unten; umgekehrt bei kinnwärts gewendetem Blick.

Oder man vergleiche die Neigung, welche eine Reihe von Sternen, wie Beispiel die drei Sterne im Schwanz des grofsen Bären, gegen den izont zu haben scheinen, indem man das Gesicht so wendet, dass die ne bald mit nach rechts oben, bald mit nach links oben gehobenen Augen achtet werden. Man wird finden, dafs bei ersterer Stellung das obere e dieser Sternreihe sich scheinbar mehr nach links, im zweiten Falle r nach rechts, also immer gegen die Medianebene des Kopfes hin, neigt. Es handelt sich bei diesen Beispielen nicht um Bestimmung einer abso- Richtung der Sternreihen im Raume, als senkrecht oder horizontal, da solche bei der unbestimmten Form des imaginären Himmelsgewölbes st nie eine ganz bestimmte sein kann. Es handelt sich nur darum die Ueber- immung oder Nichtübereinstimmung in der Richtung des angeschauten es bei verschiedener Blickrichtung zu constatiren, und es zeigt sich bei n Versuchen, dafs wir bei stark peripherischen Stellungen der Augen ichende Urtheile über die Lage der Gesichtsobjecte im Gesichtsfelde auch über die Form des Gesichtsfeldes fällen. Da nun, wie gesagt, in n ausgedehnten Felde solche Raddrehungen der Augen, die dergleichen nsequenzen hervorrufen, nicht ganz vermieden werden können, so kann gefordert werden, dafs die Raddrehungen des Auges bei verschiedenen ungen der Gesichtslinie so gewählt werden, dafs die Summe aller Fehler er Orientirung, die aus den Raddrehungen des Auges herfliefsen, ichst klein werde.

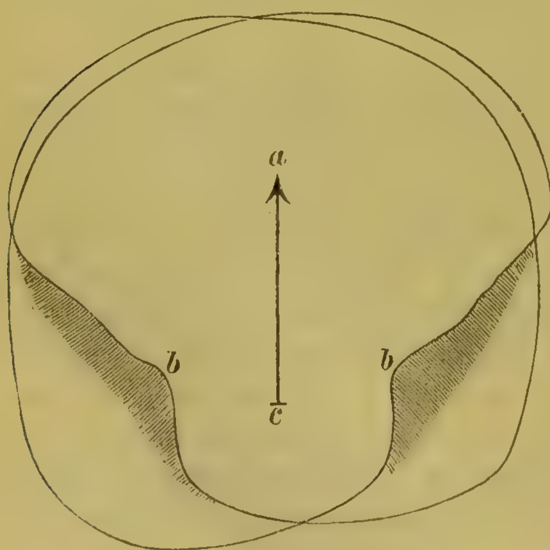
Die vollkommene Erfüllung des zweiten Princips würde fordern, dafs allen Stellungen der Blicklinie die Ebene der Drehungsaxen immer lbe Lage im Augapfel hätte. Es würde dann nie eine Componente der ung vorkommen, deren Axe die Normale zu jener Ebene der Drehungs- wäre, welche Normale ich die a t r o p e L i n i e des Auges zu nennen schlagen habe. Jede Drehung um diese atrope Linie, deren Lage im zunächst noch unbestimmt bleibt, würde als ein Fehler zu betrachten Die Forderung des zweiten Princips würde also so formulirt werden en, dafs d i e S u m m e d i e s e r F e h l e r q u a d r a t e f ü r a l l e v o r- m e n d e n u n e n d l i c h k l e i n e n B e w e g u n g e n d e s A u g e s e i n imum w e r d e. Die Quadrate der Fehler müssen hier aus denselben 484
den, wie bei den Fehlerausgleichungen nach der Methode der kleinsten rate genommen werden.

Das Resultat der analytischen Behandlung dieses Problems, ist fo gendes: Damit die Summe der Fehler am kleinsten werde, mufs die atro Linie für jede Form des Feldes mit der Blicklinie zusammenfallen; die Ve theilung der Raddrehungen aber hängt im Allgemeinen von der Form d Feldes ab. In einem kreisförmigen Blickfelde würde das Listing'sche Gese den Bedingungen der Aufgabe am vollkommensten entsprechen, und zw mit der Primärstellung im Centrum des kreisförmigen Feldes. In nic genau, aber annähernd kreisförmigen Feldern würden gegen den Rand h sich Abweichungen vom Listing'schen Gesetze zeigen müssen, deren Gröf aber durch den Umstand noch verringert werden kann, dafs solche per pherische Stellen vom Blicke seltener durchlaufen werden, und wir, wie scheint, auch diejenigen Bewegungsrichtungen des Auges zu vermeid suchen, die dem Rande des Blickfelds parallel gehen und Scheinbewegung der Objecte hervorbringen würden.

Es zeigt sich also hierbei, dafs das Listing'sche Gesetz der Auge bewegungen das vortheilhafteste für die Orientirung ist, zunächst für e einzelnes Auge und für ein kreisförmiges Blickfeld.

Nun sehen wir aber mit zwei Augen, welche bald parallel, bald co vergirend gestellt werden. Das Princip der leichtesten Orientirung für Ruh stellungen fordert nur, dafs die Raddrehungen der Augen dieselben seie sobald dieselben Stellungen beider Augen wieder eintreten, und in der Th finden wir kleine Abweichungen der Raddrehung bei Convergenzstellung von denen bei Parallelstellungen. Es werden aber beim normalen Seh Parallelstellungen in der Regel nur in denjenigen Theilen des Gesichtsfeld vorkommen, welche sehr weit entfernte Objecte darzubieten pflegen; das si die oberen Theile des Feldes.

Im unteren Theile des Blickfeldes finden sich fast ausschliefslich na Gegenstände vor; der entfernteste von ihnen ist der Fufsboden. Das g meinsame Blickfeld meiner beiden Augen bei paralleler Stellung habe ich *Fig. 207* gezeichnet; *a* ist die Primä stellung des fernsehenden Auges, d Länge des Pfeils, *a c* bezeichnet d entsprechende Entfernung des Aug von der Tafel, auf die das Blickfe projicirt ist; die Augen befinden si dabei in Richtung des in *a* errichtet Lothes. Nach unten hin ist das Se feld jedes Auges auf der innern Sei eingeengt durch die hervortretende Na *b b* der Figur; was vom Nasenrück noch fixirt werden kann, ist du Schattirung angedeutet. Dieser unte Theil, welcher von den Doppelbilde der Nase theilweis zugedeckt ist u



485 *Fig. 207.*

zwischen diesen Doppelbildern liegt, kann für parallele Augenstellungen gar nicht gebraucht werden, auch sind dieselben hier entschieden schwerer zustellen, als im oberen Theile des Feldes. Wir können also etwa chen *b b* der Figur die Grenze ziehen für das Blickfeld der parallelen ichtslinien, dann bleibt für sie ein nahehin kreisförmiges Feld übrig, ich finde hier in der That das LISTING'sche Gesetz gültig, und die närstellung *a* in der Mitte dieses Feldes. Übrigens sind die beiden ler meiner Augen nicht ganz symmetrisch; mein linkes Auge kann er nach unten und aufsen sehen als das rechte.

Bei Convergenzstellungen bekommen die Augen zuerst eben wegen der vergenz eine Richtung nach innen, und zweitens überwiegend nach unten. oberen Theil des Blickfeldes kommen verhältnifsmäfsig sehr selten nahe enstände vor, die wir zu betrachten haben, auch sind wir nicht im nde, die Convergenz dort so weit zu treiben, wie beim Blick nach unten. er sind für Convergenzstellungen Abweichungen von dem Bewegungstze der Parallelstellungen in dem Sinne zu erwarten, als ob die Primärung für sie tiefer und mehr nach innen liegt, als für die Parallelstellungen; dieser Art sind in der That die Abweichungen in der oben in *Fig. 203* ebenen Uebersicht. Die Stärke dieser Abweichungen wird dann wohl der gewohnheitsmäfsigen Häufigkeit der Convergenzstellungen und Stärke abhängen müfsen, und bei kurzsichtigen Augen, welche hauptlich in Convergenz beobachten, werden sich die Eigenthümlichkeiten ner Convergenzstellungen auch auf die verhältnifsmäfsig seltner gebrauchten stellungen übertragen können.

Bei dem citirten Versuche, das Gesetz der Augenbewegungen aus Bedürfnissen des Wahrnehmens herzuleiten, mufste natürlich abstrahirt len von aller Kenntnifs und Schätzung der Längen und Winkel des inbaren Gesichtsfeldes, ja selbst von der Kenntnifs der Anordnung der hautpunkte auf der Netzhaut, weil diese Kenntnisse, wenn man sie nicht angeboren ansieht, erst durch die Bewegungen des Auges gewonnen en können. In Wirklichkeit wird beides sich wohl neben einander und hzeitig entwickeln müssen, und es soll deshalb die gegebene Ableitung Drehungsgesetzes nicht als eine genaue Beschreibung des factischen ickelungsganges dieses Gesetzes während der ersten Kindheit angesehen en. Vorläufig kann die empiristische Theorie der Gesichtswahrnehmungen eser Beziehung weiter nichts leisten, als nachweisen, dafs in den Gesichtsnehmungen und bei den Bewegungen des Auges nichts vorkommt, was durch Erfahrung und zweckmäfsige Einübung unter dem Bestreben, bjecte der Aufsenwelt möglichst genau und sicher zu erkennen, gewonnen en könnte. Dabei wird natürlich der Gang dieser Einübung und Erng methodischer und mehr in seine einzelnen Momente zerlegt dargestellt en müssen, als er in Wirklichkeit in dem bunten Gedränge zufälliger seindrücke meistentheils vor sich gehen mag.

A. FICK und WUNDT haben als regelndes Princip für die Augen-

bewegungen hingestellt, dafs diejenige Raddrehung gewählt werde, bei welche die gewünschte Richtung der Blicklinie mit der geringsten Muskelanstrengun
486 erreicht werden kann. Ueber die Durchführung dieses Princips wird unte das Nähere angegeben werden. Wahrscheinlich ist dasselbe thatsächlic erfüllt bei den wirklich vorhandenen normalen Augenbewegungen. Indesse glaubte ich mich nicht bei diesem Principe als dem letzten beruhigen z dürfen, weil willkürliche Anstrengung nachweisbar diejenigen Stellungen de Augapfels herbeiführen kann, welche den Zwecken des Sehens am beste entsprechen, und die Muskeln im Allgemeinen bildsam genug sind, dafs die jenigen, von denen man die gröfsere Anstrengung verlangt, auch bald di stärkeren werden. Indessen ist wohl nicht zu leugnen, dafs wenn der Auge muskelapparat vieler Generationen hinter einander sich den Bedürfnissen de Individuen angepafst hat und sich seine Anordnung auf die Nachkomme vererbt, für die factische Herbeiführung der zweckmäfsigsten Raddrehunge des Auges der Umstand, dafs sie die leichtesten sind, aufserordentlich günst einwirken mufs. Die oben angeführten Versuche zeigen aber, dafs d leichtesten Augenbewegungen für die Dauer dann nicht gewählt werde wenn sie nicht auch gleichzeitig die vortheilhaftesten für das Sehen sind.

Aehnliche Gesetze wie für die Bewegungen der Augen gelten auch fi die des Kopfes. Es hat schon AUBERT bemerkt, wenn man den Kopf plötzlic nach einer Seite neigt, während man einen festen Punkt einer gerad verticalen oder horizontalen Linie fixirt, so dafs ihr Bild auf der Netzha eine Drehung erleidet, dafs dann entweder bei der Bewegung des Kopf eine scheinbare Drehung jener Linie eintritt, oder man wenigstens ei gewisse Unsicherheit fühlt, zu entscheiden, ob eine Drehung eingetreten s oder nicht.

Die gewöhnlichen Bewegungen des Kopfes geschehen übrigens na demselben Princip, wie die der Augen. Das Hinterhauptsgelenk besteht a zwei Gelenken, dem zwischen Hinterhauptsbein und dem ersten Halswirb oder Atlas, und dem Gelenke zwischen dem Atlas und dem zweiten Hal wirbel. Das erste läfst eine Drehung um eine horizontal von rechts na links gehende Axe, und in geringer Ausdehnung auch eine Drehung um ei horizontal von vorn nach hinten gehende Axe zu; das zweite genannte G lenk hat nur eine verticale Drehungsaxe. Beide Gelenke zusammen könn also mäfsige Drehungen um alle beliebig gelegenen Axen zulassen. Da kommt dann noch die Beweglichkeit der Halswirbelsäule. Wenn man (Augen weit nach rechts oder links wenden will, dreht sich der Kopf 1 eine senkrechte Axe im unteren Gelenke; wenn der Blick gerade nach ob oder unten gewendet wird, dreht sich der Kopf um die horizontal von rech nach links gehende Drehungsaxe der Gelenkköpfe des Hinterhauptbein wenn er aber schräg nach rechts und oben gekehrt wird, so dreht er si wie das Auge, um eine von oben rechts nach unten links gehende Axe, dafs die rechte Seite des Kopfes höher zu stehen kommt, als die lin Wenn der Blick dagegen nach unten rechts sich wendet, kommt die rech

ite des Kopfes tiefer zu stehen. Es sind dies also Drehungen derselben t, wie sie das Auge ausführt, wenn auch mit gröfserer Freiheit veränderlich, die des Auges.

Allgemeine geometrische Betrachtung der Drehungen. Man denke einen gewöhnlichen Erdglobus, der mit seiner Polaxe drehbar in einem ssingenen Ringe befestigt ist; dieser Meridianring möge selbst in Einschnitten hölzernen Gestells verschoben und endlich das Gestell auf einem horizontalen 487
che stehend gedreht werden können, wobei es sich um die Lothlinie als Axe ht. Eine solche Befestigungsweise reicht hin, um den Globus in alle möglichen gen zu versetzen. Der Globus möge den Augapfel darstellen und die Pollinie ge der Blicklinie entsprechen.

Im Anfange möge die Pollinie senkrecht stehen, und der erste Meridian des bus, der von Ferro, in der Ebene des Ringes stehen. Die verticalen Coordinaten o der Blicklinie in ihrer Anfangsstellung parallel) nenne ich x, die Ebene des en Meridians und des Meridianringes sei die Ebene der xy, die y Axe also izontal in der Ebene des Ringes und die z Axe senkrecht darauf. Alle diese n sollen durch den Mittelpunkt der Kugel gehen. Da es ganz willkürlich ist, wir im Auge die y und z Axe legen, so wollen wir annehmen, die atrope Linie e in ihrer Anfangslage in der y Ebene. Es vereinfacht sich dadurch die hnung sehr merklich, ohne dafs die Allgemeinheit derselben beeinträchtigt wird. dem Globus, der den Augapfel darstellen soll, würde also die atrope Linie irgend im Meridian von Ferro liegen.

Wir denken uns nun vier rechtwinkelige Coordinatensysteme, welche alle in Anfangslage der Kugel mit einander zusammenfallen. Das erste derselben nen wir $x\,y\,z$, es sei absolut fest im Raume. Das zweite nennen wir $x_1\,y_1\,z_1$, sei beweglich zugleich mit dem Gestell des Globus und mit diesem Gestelle verbunden; das dritte nennen wir $x_2\,y_2\,z_2$, es sei fest verbunden mit dem singenen Meridianringe; das vierte endlich nennen wir $\xi\,v\,\zeta$, es sei fest mit der el verbunden.

Wenn das Gestell auf dem Tische gedreht wird, so verschiebt sich das rdinatsystem der $x_1\,y_1\,z_1$ gegen das der xyz; da aber die x Axe Drehungsaxe so bleibt die x_1 Axe zusammenfallend mit der x Axe, und die $y_1\,z_1$ Ebene der yz Ebene. Folglich ist auch nach der Drehung die Entfernung x_1 eines n beliebigen Punktes von der $y_1\,z_1$ Ebene ebenso grofs wie seine Entfernung x der yz Ebene. Es sei in *Fig. 208* die Ebene des Papiers die Ebene der yz $y_1\,z_1$; es sei OA die Axe der y, OH die der z, OD der y_1, OE die der z_1; C sei die Projection des ktes, dessen Coordinaten gesucht werden. Man fälle C die Lothe CA, CB, CD, CE beziehlich auf die Coordinataxen, und endlich noch vom Punkte E die he EG und EH auf OA und OB, deren Schnittpunkt mit K bezeichnen, so ist

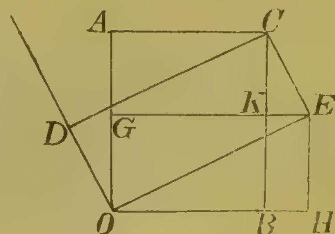


Fig. 208.

$$OA = CB = y \qquad OD = CE = y_1$$
$$OB = AC = z \qquad OE = CD = z_1.$$

Winkel EOH, um den das System der $x_1\,y_1\,z_1$ gegen das der xyz gedreht nennen wir ϑ.

$$y = OA = OG + GA = OG + KC.$$

Da nun der Winkel $GEO = ECK = EOH = \vartheta$ ist, so ist

$$OG = OE \sin (GEO) = z_1 \sin \vartheta$$

$$KC = CE \cos (ECK) = y_1 \cos \vartheta,$$

folglich

$$y = y_1 \cos \vartheta + z_1 \sin \vartheta$$

488 und ebenso

$$z = OB = OH - KE$$

$$OH = OE \cos (EOH) = z_1 \cos \vartheta$$

$$KE = EC \sin (ECK) = y_1 \sin \vartheta,$$

also

$$z = z_1 \cos \vartheta - y_1 \sin \vartheta.$$

Wir haben also für die Coordinaten xyz des durch die $x_1 y_1 z_1$ gegebenen Punk nach der Drehung folgende Werthe:

$$\left.\begin{aligned} x &= x_1 \\ y &= y_1 \cos \vartheta + z_1 \sin \vartheta \\ z &= - y_1 \sin \vartheta + z_1 \cos \vartheta \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Wenn ferner der Messingring des Globus in dem Gestelle gedreht wird, so änd sich die Lage des Systems der $x_2 y_2 z_2$ gegen das der $x_1 y_1 z_1$, wobei die $x_2 y_2$ Eb aber mit der $x_1 y_1$ Ebene in Congruenz bleibt, und also auch die z_2 Axe mit z_1 Axe. Der Drehungswinkel sei α, die Werthe der Coordinaten $x_1 y_1 z_1$ fin man ausgedrückt in den Werthen der $x_2 y_2 z_2$ ähnlich wie vorher

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= x_2 \cos \alpha - y_2 \sin \alpha \\ y_1 &= x_2 \sin \alpha + y_2 \cos \alpha \\ z_1 &= z_2 \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Endlich drehe man den Globus um seine Polaxe, dabei verschiebt sich das Syst der $\xi v \zeta$ gegen das der $x_2 y_2 z_2$, während die ξ und die x_2 Axe, als Drehungsa congruent bleiben. Die Werthe der $x_2 y_2 z_2$ sind, wenn der Drehungswinkel mit bezeichnet wird,

$$\left.\begin{aligned} x_2 &= \xi \\ y_2 &= v \cos \omega + \zeta \sin \omega \\ z_2 &= - v \sin \omega + \zeta \cos \omega \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots 1$$

Nun setze man die Werthe von $x_1 y_1 z_1$ aus 1a) in die Gleichungen 1); man erl

$$x = x_2 \cos \alpha - y_2 \sin \alpha$$

$$y = x_2 \sin \alpha \cos \vartheta + y_2 \cos \alpha \cos \vartheta + z_1 \sin \vartheta$$

$$z = - x_2 \sin \alpha \sin \vartheta - y_2 \cos \alpha \sin \vartheta + z_2 \cos \vartheta.$$

In diese Gleichungen endlich setze man für $x_2 y_2 z_2$ deren Werthe aus den Gleichungen 1 Man erhält

$$\left.\begin{aligned} x &= \xi \cos\alpha - v \cos\omega \sin\alpha - \zeta \sin\omega \sin\alpha \\ y &= \xi \sin\alpha \cos\vartheta + v\,(\cos\alpha \cos\vartheta \cos\omega - \sin\vartheta \sin\omega) \\ &\quad + \zeta\,(\cos\alpha \cos\vartheta \sin\omega + \sin\vartheta \cos\omega) \\ z &= - \xi \sin\alpha \sin\vartheta - v\,(\cos\alpha \sin\vartheta \cos\omega + \cos\vartheta \sin\omega) \\ &\quad - \zeta\,(\cos\alpha \sin\vartheta \sin\omega - \cos\vartheta \cos\omega) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots 1\,c).$$

ıdurch sind die Raum-Coordinaten xyz jedes Punktes gegeben, der durch seine ıordinaten $\xi v \zeta$ auf oder in der Kugel gegeben ist.

Bestimmen wir zunächst die Lage der Polaxe, welche der Blicklinie des Auges 489 ıtsprechen soll; sie ist die Axe der ξ, für ihre Punkte ist $v = \zeta = 0$. Daraus ıgt dann für einen Punkt der Polaxe, welcher um ξ vom Drehpunkte entfernt ist

$$x = \xi \cos\alpha$$

$$y = \xi \sin\alpha \cos\vartheta$$

$$z = - \xi \sin\alpha \sin\vartheta.$$

er Winkel zwischen der Polaxe und ihrer Anfangsstellung ist also α, und die rojection der Polaxe auf die Horizontalebene ist $\xi \sin\alpha$, welche mit der xy Ebene ın Winkel ϑ macht. Diese Projection ist nun aber die Schnittlinie einer durch e verticale x Axe und die Polaxe ξ gelegten Ebene mit der Horizontalebene. bertragen wir diese Verhältnisse auf das Auge, so ist

α der Winkel zwischen der ersten und zweiten Lage der Blicklinie,

ϑ der Winkel, den eine durch die erste und zweite Lage gelegte Ebene mit der ursprünglichen xy Ebene bildet.

urch beide Winkel ist die Richtung der Blicklinie gegeben.

Um nun noch den Sinn des Winkels ω für die Verhältnisse am Auge anhaulich zu machen, wollen wir fragen, wie mufs der Winkel ω gewählt werden, enn sich das Auge nach dem Gesetze von Listing bewegt, und die Anfangslage, o die xyz mit den $\xi v \zeta$ zusammenfallen, seine Primärlage ist. Dann müfste nach esem Gesetze die neue Stellung die gleiche sein, als wäre das Auge durch rehung um eine in der $v\zeta$ und yz Ebene liegende Drehungsaxe in die neue Lage bergeführt worden. Da die Punkte der Drehungsaxe unveränderte Lage behalten, mufs für sie auch nach der Drehung

$$x = \xi \qquad y = v \qquad z = \zeta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 2)$$

in. Durch diese drei Bedingungen können wir in allen Fällen die Lage der rehungsaxe finden. Da der Forderung des Listing'schen Gesetzes gemäfs die rehungsaxe in der $v\zeta$ Ebene liegen, das heifst für ihre Punkte $\xi = 0$ sein soll, erhalten wir aus den Gleichungen 1c) nach Einsetzung dieser Werthe

$$= - v \cos\omega \sin\alpha - \zeta \sin\omega \sin\alpha$$

$$= v\,(\cos\alpha \cos\vartheta \cos\omega - \sin\vartheta \sin\omega) + \zeta\,(\cos\alpha \cos\vartheta \sin\omega + \sin\vartheta \cos\omega)$$

$$= - v\,(\cos\alpha \sin\vartheta \cos\omega + \cos\vartheta \sin\omega) - \zeta\,(\cos\alpha \sin\vartheta \sin\omega - \cos\vartheta \cos\omega).$$

Aus der ersten Gleichung folgt:

$$v \cos \omega + \zeta \sin \omega = 0,$$

was erfüllt wird, wenn wir setzen

$$v = h \sin \omega, \qquad \zeta = - h \cos \omega,$$

worin h eine willkürliche Gröfse bedeutet. Dadurch reduciren sich die bei[illegible] andern Gleichungen auf die Bedingungen

$$\sin \omega = - \sin \vartheta$$

$$- \cos \omega = - \cos \vartheta,$$

die zu erfüllen sind durch die Annahme

$$\omega = - \vartheta \ldots\ldots\ldots 2$$

490 Dies ist also die Bedingung, dafs die durch die Gleichungen 1c) gegebenen Drehun[illegible] dem LISTING'schen Gesetze folgen. Dann werden die Werthe x, y, z

$$\left.\begin{aligned} x &= \xi \cos \alpha - v \cos \vartheta \sin \alpha + \zeta \sin \vartheta \sin \alpha \\ y &= \xi \sin \alpha \cos \vartheta + v\,(\cos \alpha \cos^2 \vartheta + \sin^2 \vartheta) \\ &\quad + \zeta\,(1 - \cos \alpha) \sin \vartheta \cos \vartheta \\ z &= - \xi \sin \alpha \sin \vartheta - v\,(\cos \alpha - 1) \sin \vartheta \cos \vartheta \\ &\quad + \zeta\,(\cos \alpha \sin^2 \vartheta + \cos^2 \vartheta) \end{aligned}\right\} \ldots\ldots 2$$

Zu bemerken ist noch, dafs überhaupt, auch abgesehen von LISTING's Gesetz, Summe $\omega + \vartheta$ für sehr kleine Werthe von α jedenfalls verschwindend klein wer[illegible] mufs, wenn nicht Verschiebungen der Blicklinie um unendlich kleine Werthe vo[illegible] endliche Lagenveränderungen des Auges ergeben sollen.

In den Gleichungen 2b) ist x die Entfernung des Punktes, dessen Coordina[illegible] hier gegeben sind, von der yz Ebene; ξ ist die Entfernnng desselben Punktes [illegible] der $v\zeta$ Ebene. Beide sind positiv genommen, wenn sie vor der Vorderseite die[illegible] Ebenen liegen. Setzt man nun

$$x = - \xi \qquad \text{oder} \qquad x + \xi = 0 \ldots\ldots 2$$

so ist dies die Gleichung aller der Punkte, die gleichweit von der Vorderseite [illegible] Ebene $x = 0$ und von der Hinterseite Ebene $\xi = 0$ abstehen. Diese Eigensch[illegible] kommt aber den Punkten derjenigen Ebene zu, welche den Winkel ϑ, den Ebenen $x = 0$ und $\xi = 0$ mit einander machen, halbirt. Die Gleichung 2c) also die Gleichung dieser Halbirungsebene. Diese Gleichung wird, wenn man [illegible] Werth von x aus 2b) entnimmt

$$0 = \xi\,(1 + \cos \alpha) - v \cos \vartheta \sin \alpha + \zeta \sin \vartheta \sin \alpha \ldots\ldots 2$$

Indem wir diese Gleichung mit dem Factor

$$\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

multipliciren, erhalten wir

$$0 = \xi \sin \alpha - v \cos \vartheta\,(1 - \cos \alpha) + \zeta \sin \vartheta\,(1 - \cos \alpha) \ldots\ldots 2$$

Multipliciren wir diese letztere mit $\cos \vartheta$, so erhalten wir

$$0 = \xi \sin \alpha \cos \vartheta + v (\cos \alpha \cos^2 \vartheta - \cos^2 \vartheta) + \zeta \cos \vartheta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha).$$

Bei der Vergleichung mit dem Werthe von y in 2b) zeigt sich, dafs diese identisch ist mit

$$v = y.$$

Eine entsprechende Gleichung, welche man durch Multiplication von 2e) mit $\sin \vartheta$ erhält, ist identisch mit

$$\zeta = z.$$

Für die Punkte der Halbirungsebene des Winkels ϑ, den die Ebenen $x = 0$ und $\xi = 0$ mit einander machen, ist also

$$x = -\xi, \qquad y = v, \qquad z = \zeta \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2f).$$

Nehmen wir nun eine zweite Stellung des Bulbus, für die wir die Werthe von *491*
$x, y, z, \alpha, \vartheta$ beziehlich mit $x_0, y_0, z_0, \alpha_0, \vartheta_0$ bezeichnen, so ist für die Halbirungsebene des Winkels ϑ_0, welchen die Ebenen $x_0 = 0$ und $\xi = 0$ mit einander machen, ebenfalls

$$x_0 = -\xi, \qquad y_0 = v, \qquad z_0 = \zeta.$$

Wenn also der Punkt $\xi v \zeta$ gleichzeitig beiden Halbirungsebenen angehört, das heifst in deren Schnittlinie liegt, so ist für ihn

$$x = x_0, \qquad y = y_0, \qquad z = z_0.$$

Die Punkte der genannten Schnittlinie haben also dieselbe Lage im Raume bei der ersten wie bei der zweiten Stellung des Auges, und daraus folgt, dafs, wenn man das Auge aus der ersten in die zweite Stellung durch Drehung um eine constante Axe überführen will, die genannte Schnittlinie der Halbirungsebenen dabei als Axe zu benutzen ist. Die Lage dieser Axe ist gegeben durch die Gleichung 2b) und die analoge Gleichung für die zweite Stellung

$$x + \xi = 0 \text{ und } x_0 + \xi = 0.$$

Der Winkel, durch den der Bulbus um die resultirende Drehungsaxe hierbei gedreht werden mufs, um die erste Stellung in die zweite überzuführen, ist doppelt so grofs, als der Winkel, unter dem sich die genannten beiden Halbirungsebenen $x + \xi = 0$ und $x_0 + \xi = 0$ gegenseitig schneiden.

Die hier gegebene Regel, nach welcher das Resultat zweier auf einander folgender Drehungen auf eine einzige Drehung reducirt wird, kann ganz unabhängig vom LISTING'schen Gesetze auf jeden Körper übertragen werden, der sich um einen Punkt dreht. Wenn ein solcher Körper nach einander um zwei verschiedene Axen gedreht wird, und man kennt die Lage beider Axen, die sie haben, während die Drehung um sie geschieht, oder, was dasselbe ist, die sie haben nach der ersten Drehung und vor der zweiten Drehung, so lege man durch beide Axen eine Ebene, welche A heifsen mag, und construire die Lage dieser Ebene, welche sie hat vor der ersten Drehung, A_0, und diejenige, welche sie hat nach der zweiten Drehung, A_1. Da die Drehungsaxen die Schnittlinien von A_0 und A,

so wie von A_1 und A sind, so ist dies ohne Schwierigkeit auszuführen, sobald man die Gröfse der Drehungswinkel kennt, welches die Winkel $A_0 A$ und $A_1 A$ sind. Man construire die Halbirungsebenen beider Winkel; deren Schnittlinie ist die resultirende Drehungsaxe, der doppelte Werth des Winkels, unter dem sich die beiden Halbirungsebenen schneiden (gleichgültig welchen von den beiden Winkeln man nimmt), ist der Drehungswinkel.

Wenn die Drehungen unendlich klein sind, so liegt die resultirende Drehungsaxe unendlich wenig von der Ebene entfernt, welche die beiden anderen Axen enthält und fällt im Grenzfalle mit der Diagonale des Parallelogramms zusammen, dessen zwei Seiten der Richtung nach mit den beiden Drehungsaxen zusammenfallen und eine der Gröfse der Drehungswinkel proportionale Länge haben.

Wir kehren zurück zu den Folgerungen aus dem LISTING'schen Gesetze für die Bewegungen des Bulbus. Da die Drehungsaxe, um welche das Auge zu drehen ist, um es aus der Stellung der Gleichungen 2b) überzuführen in irgend eine andere Stellung mit den Coordinaten x_0, y_0, z_0, jedenfalls in der Ebene $x + \xi = 0$ liegt, welches auch die zweite Stellung sei, so folgt, dafs jedes Mal, wo man von einer bestimmten Anfangsstellung des Bulbus in beliebige andere Stellungen durch Drehung um feste Axen übergehen will, diese Drehungsaxen alle in einer gewissen Ebene liegen müssen, deren Lage nur von der Anfangsstellung abhängt, nicht von der zu
492 erreichenden Stellung, und dafs ferner jede Drehung von beliebiger Gröfse um eine der in der genannten Ebene liegenden Axen das Auge aus der zugehörigen Anfangsstellung immer wieder in neue Stellungen überführt, die dem LISTING'schen Gesetze entsprechen.

Die Primärstellung der Blicklinie ist also nur dadurch ausgezeichnet, dafs die zugehörige Ebene der Drehungsaxen auf der Blicklinie senkrecht steht.

Die Lage der Normale auf der Ebene der Drehungsaxen für irgend eine Lage der Blicklinie findet man also, wenn man den Winkel zwischen der zeitigen Lage der Blicklinie und ihrer Primärstellung halbirt. Man kann diese Normale die zeitige atrope Linie für die betreffende Augenstellung nennen.

Bei jeder fortgesetzten Drehung um eine Axe, welche das Auge in Übereinstimmung mit dem LISTING'schen Gesetze ausführt, wird die zeitweilige atrope Linie der Anfangsstellung einen gröfsten Kreis auf dem kugeligen Blickfelde beschreiben, weil sie senkrecht zur Drehungsaxe im Drehpunkte steht. Die Blicklinie aber, welche im Allgemeinen nicht senkrecht zur Drehungsaxe, wird keinen gröfsten Kreis, sondern einen Parallelkreis zum gröfsten Kreise der relativ atropen Linie ihrer Anfangsstellung beschreiben.

Es sei in *Fig. 209* O der Drehpunkt des Auges, AO die Primärstellung der Blicklinie, OB eine zweite Stellung derselben. Der Kreis $ACBDF$ stelle den Durchschnitt des kugelig gedachten Blickfeldes vor. Der Winkel AOB werde halbirt durch GOC, so ist GOC die atrope Linie für die Stellung der Blicklinie in OB, und wenn OD ein Loth zu OC ist, so würde eine senkrecht zur Ebene der Zeichnung durch OD gelegte Ebene die Ebene der Drehungsaxen für OB sein. Nun ist leicht zu sehen, dafs, wenn wir AO bis F verlängern, die Winkel BOD und FOD gleich

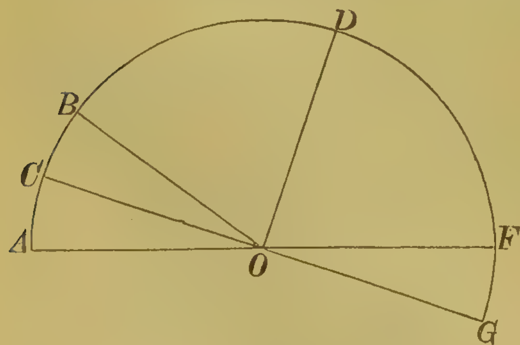


Fig. 209.

nd, da sie die Complemente der gleichen Winkel BOC und GOF sind. Daraus folgt eiter, dafs, wenn OE irgend eine andere Axe in der durch OD gelegten Ebene er Drehungsaxen ist, auch der Winkel BOE und FOE gleich sein müssen.

Wenn man also den Bulbus um die Axe OE ganz herumdrehen könnte, würde ie Linie OB auch in die Lage OF kommen müssen. Folglich müssen auch die reise, welche die Blicklinie, ausgehend von der Stellung OB, bei der Drehung m eine feste Axe dem LISTING'schen Gesetze gemäfs im kugeligen Blickfelde eschreibt, alle durch den Punkt F gehen. Die Lage des Punktes F ist aber ganz nabhängig von der Lage von OB, nur abhängig von der Primärstellung OA. Vir können ihn den Occipitalpunkt des Blickfeldes nennen. Daraus folgt:

> Alle Kreisbögen, welche die Blicklinie bei der Drehung um eine feste Axe dem LISTING'schen Gesetze gemäfs im kugeligen Blickfelde beschreibt, gehen verlängert durch den Occipitalpunkt des Blickfeldes.

nd umgekehrt:

> Wenn die Blicklinie dem LISTING'schen Gesetze entsprechend einen Kreisbogen im kugeligen Blickfelde beschreibt, der durch den Occipitalpunkt des Blickfeldes geht, so dreht sie sich dabei um eine festbleibende Axe, die senkrecht zur Ebene des betreffenden Kreises ist.

Wir wollen diese Kreise des kugeligen Blickfeldes, welche durch den ccipitalpunkt gehen, Directionskreise nennen. Ihre Wichtigkeit für die 493
rientirung wird sich noch in den nächsten Abschnitten mehr zeigen. Die irectionskreise sind also gröfste Kreise des Blickfeldes nur, wenn sie durch die rimärstellung der Blicklinie gehen, deren Ort im Blickfelde wir den Hauptblickunkt nennen können.

Es ergiebt sich ferner leicht, dafs, wenn ein linienförmiges Nachbild im Auge ntwickelt ist, welches sich in das Blickfeld auf einen Directionskreis der betreffenden tellung der Blicklinie projicirt, und das Auge in Richtung dieses Directionskreises ewegt wird, das Nachbild seine scheinbare Lage in diesem Directionskreise behalten nd sich nur in Richtung seiner eigenen Länge verschieben wird; und wenn in Nachbild entwickelt ist, welches in dem Blickpunkt einen der betreffenden irectionskreise senkrecht schneidet, dass es bei der Bewegung des Blicks in diesem irectionskreise senkrecht zu demselben bleiben wird.

Endlich ist auch leicht einzusehen, dafs das Nachbild congruiren wird mit der ichtung aller derjenigen Directionskreise, die im Occipitalpunkt die gleiche Tangente it demjenigen haben, mit dem es zuerst congruirte.

Die Gleichung der Directionskreise, welche durch eine bestimmte Stellung der licklinie hindurchgehen, z. B. durch die in den Gleichungen 2b) gegebene, ergiebt ch leicht aus der Bedingung, dafs sie durch eine Ebene, welche durch den ccipitalpunkt geht, aus dem kugelförmigen Blickfelde ausgeschnitten werden, dessen ittelpunkt der Drehpunkt des Auges, der Anfangspunkt unserer Coordinaten ist. s sei also die Gleichung des kugelförmig gedachten Blickfeldes

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3).$$

ie allgemeine Gleichung einer Ebene ist

$$ax + by + cz = A.$$

Die Coordinaten des Occipitalpunktes sind

$$x = -R, \qquad y = 0, \qquad z = 0.$$

Diese in die Gleichung der Ebene gesetzt, müssen dieser genügen, also

$$-aR = A.$$

Dadurch ist die unbekannte Gröfse A bestimmt, und die Gleichung einer beliebige Ebene, die durch den Occipitalpunkt geht, wird also

$$ax + by + cz = -aR \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3a$$

Die beiden Gleichungen 3) und 3a) sind also die Gleichungen eines beliebige Directionskreises.

Schreiben wir diese beiden Gleichungen wie folgt:

$$x^2\left(1 + \frac{y^2}{x^2} + \frac{z^2}{x^2}\right) = R^2$$

$$x^2\left(1 + \frac{b}{a}\frac{y}{x} + \frac{c}{a}\frac{z}{x}\right)^2 = R^2$$

und dividiren sie durch einander, so erhalten wir

$$1 + \frac{y^2}{x^2} + \frac{z^2}{x^2} = \left(1 + \frac{b}{a}\frac{y}{x} + \frac{c}{a}\frac{z}{x}\right)^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3b$$

494 Dies ist die Gleichung eines Kegels, dessen Spitze im Anfangspunkt der Coordinaten liegt, und der durch den Directionskreis hindurchgeht. Das letztere ist der Fall, weil wir die Gleichung 3b) aus den Gleichungen 3) und 3a) abgeleitet haben, in denen x, y, z die Coordinaten eines beliebigen Punktes des Directionskreises bezeichnen, und ein Kegel ist die in 3b) gegegebene Fläche, weil die Gleichung 3b), wenn sie erfüllt wird durch die Coordinaten eines Punktes x, y, z auch erfüllt wird durch die Coordinaten aller derjenigen Punkte, für welche die Verhältnisse $\frac{y}{x}$ und $\frac{z}{x}$ dieselben Werthe haben.

Wenn aber $\frac{y}{x} = C_0$ und $\frac{z}{x} = C_1$ gesetzt werden, so sind dies die Gleichungen einer geraden Linie, die durch den Mittelpunkt der Coordinaten geht. Da also alle Punkte einer geraden Linie, die durch den Mittelpunkt der Coordinaten und durch einen Punkt der Fläche 3b) geht, ganz in dieser Fläche liegen, so ist diese Fläche eine Kegelfläche.

Die geraden Linien, die in der Oberfläche dieses Kegels zu ziehen sind, sind die Richtungen, welche die Blicklinie annimmt, wenn sie den betreffenden Directionskreis durchläuft.

Wenn ein linienförmiges Nachbild in Richtung eines Directionskreises entworfen wird, so bleibt, wie wir hervorgehoben haben, das Nachbild in dem Directionskreise liegen, wenn das Auge dessen einzelne Punkte durchläuft. Oben haben wir die Nachbilder auf eine Ebene projicirt, die senkrecht zur Primärstellung des Auges war, deren Gleichung also ist

$$x = C.$$

tzen wir in 3b) das x constant, so wird 3b) die Gleichung einer Hyperbel, elche die Projection des Directionskreises auf die genannte Ebene ist. Sie ist

$$= (b^2 - a^2) y^2 + (c^2 - a^2) z^2 + 2bcyz + 2abxy + 2acxz \qquad \text{3c).}$$

dieser allgemeinen Form giebt die Gleichung alle Hyperbeln, längs welcher irgend e gerichtete linienförmige Nachbilder verschoben werden können.

Beschränken wir uns dagegen auf solche, welche ursprünglich einer bestimmten chtung parallel waren, zum Beispiel der z Axe, so ist in der Gleichung des rectionskreises 3a) die Constante $c = 0$ zu setzen, und setzen wir ferner

$$a = -\sin\frac{\alpha}{2} \qquad b = +\cos\frac{\alpha}{2}$$

wird die Gleichung 3c)

$$0 = y^2 \cos\alpha - z^2 \sin^2\frac{\alpha}{2} - xy \sin\alpha$$

ler

$$\cos\alpha \left(y - \frac{1}{2} x \operatorname{tg}\alpha\right)^2 - z^2 \sin^2\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{4} x^2 \cos\alpha \operatorname{tg}^2\alpha.$$

tzt man

$$\frac{1}{2} x \operatorname{tang}\alpha = f$$

d

$$x \sqrt{\frac{\operatorname{tang}\alpha}{2 \operatorname{tang}\frac{\alpha}{2}}} = g, \qquad 495$$

wird die Gleichung der Hyperbel

$$\frac{(y-f)^2}{f^2} - \frac{z^2}{g^2} = 1.$$

s ist also f die reelle Axe, g die imaginäre, und der Mittelpunkt der Hyperbel n die Länge der reellen Axe von der Linie $z = 0$ entfernt. Der eine Scheitel ler dieser Hyperbeln liegt in der x Axe, im Punkte $z = 0$, $y = 0$, aber dienigen Zweige der Hyperbeln, welche durch diesen Punkt gehen, sind keine otischen Projectionen des betreffenden Directionskreises. Sie sind vielmehr nur ometrische Projectionen der hinteren nicht sichtbaren Hälfte des Directionskreises. yperbeln dieser Art sind oben construirt in *Fig. 200.*

Es bleibt noch übrig, die Drehung zu bestimmen, welche nach dem LISTING'hen Gesetze das Auge in Beziehung auf die Visirebene erleidet. Es sei die bene $\zeta = 0$ der Netzhauthorizont des Auges, und $z = 0$ also seine Primärllung und gleichzeitig die Primärstellung der Visirebene. Die y Axe ist dann e Linie, welche die Drehpunkte beider Augen verbindet. Die Visirebene mufs so immer durch die y Axe gehen. Die allgemeine Gleichung solcher Ebenen ist

$$ax + bz = 0.$$

Für die Blicklinie ist $v = \zeta = 0$, also nach 2 b)

$$x = \xi \cos \alpha, \qquad y = \xi \sin \alpha \cos \vartheta, \qquad z = - \xi \sin \alpha \sin \vartheta$$

und da die Blicklinie in der Visirebene liegen mufs, folgt, dafs diese Werthe von x und z der allgemeinen Gleichung der Visirebene genügen müssen, also

$$a \xi \cos \alpha - b \xi \sin \alpha \sin \vartheta = 0.$$

Dem genügen wir, wenn wir setzen

$$a = \sin \alpha \sin \vartheta, \qquad b = \cos \alpha.$$

Die Gleichung der Visirebene wird also

$$x \sin \alpha \sin \vartheta + z \cos \alpha = 0$$

oder wenn wir die Werthe aus 2 b) einsetzen

$$0 = v \cos \vartheta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha) - \zeta (\sin^2 \vartheta + \cos \alpha \cos^2 \vartheta) \ldots\ldots. 4$$

Wenn die Gleichungen zweier Ebenen sind

$$ax + by + cz + d = 0$$
$$\alpha x + \beta y + \gamma z + \delta = 0,$$

so ist der Winkel k, den sie mit einander machen, bekanntlich

$$\cos k = \frac{a \alpha + b \beta + c \gamma}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}}.$$

496 Daraus folgt, dafs der Winkel, den die Visirebene der Gleichung 4) mit dem Netzhauthorizont macht, dessen Gleichung ist

$$0 = \zeta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 4a$$

gegeben wird durch die Gleichung

$$\cos k = - \frac{\sin^2 \vartheta + \cos \alpha . \cos^2 \vartheta}{\sqrt{\sin^2 \vartheta + \cos^2 \alpha \cos^2 \vartheta}}$$

oder

$$\operatorname{tang} k = \frac{\cos \vartheta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha)}{\sin^2 \vartheta + \cos \alpha \cos {}^2\vartheta} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 4b$$

Der Winkel k, welcher zwischen der zeitigen Lage des Netzhauthorizonts und der Visirebene liegt, ist hierdurch gegeben.

Der Winkel k' zwischen der Ebene des ursprünglich senkrechten Meridians $v = 0$ und einer durch die senkrechte z Axe und die Blicklinie gelegten Ebene

$$x \sin \alpha \cos \vartheta - y \cos \alpha = 0$$

wird in ähnlicher Weise gefunden

$$\operatorname{cotg} k' = \frac{\cos \vartheta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha)}{\cos^2 \vartheta + \sin^2 \vartheta \cos \alpha} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 4c$$

Nun sind häufig nicht die Winkel α und ϑ zur Abmessung der Stellung der ickliuie gebraucht worden, sondern entweder der Erhebungswinkel λ und ,itenwendungswinkel μ, wie sie oben definirt wurden, oder die Winkel, lche Fick die *Longitudo* und *Latitudo* genannt hat, die mit l und m bezeichnet rden mögen. Diese sind noch in die Formeln 4b) und 4c) einzuführen, um sie r Berechnung so ausgeführter Versuche geschickt zu machen.

Der Erhebungswinkel λ ist der Winkel zwischen der Visirebene

$$x \sin \alpha \sin \vartheta + z \cos \alpha = 0$$

d der Ebene $z = 0$, seine Tangente ist hiernach

$$\operatorname{tang} \lambda = \frac{z}{x} = - \operatorname{tang} \alpha \sin \vartheta.$$

Der Seitenwendungswinkel ist gleich dem Winkel zwischen der Äquatorial-ene des Auges $\xi = 0$ und der Ebene, welche durch die y Axe senkrecht zur sirebene geht

$$x \cos \alpha - z \sin \alpha \sin \vartheta = 0$$

er nach Substitution der Werthe aus 2b)

$$0 = \xi [\cos^2\alpha + \sin^2\alpha \sin^2\vartheta] - v \sin \alpha \cos \vartheta [\sin^2\vartheta + \cos \alpha \cos^2\vartheta]$$

$$+ \zeta \sin \alpha \sin \vartheta \cos^2\vartheta [\cos \alpha - 1],$$

raus nach denselben Regeln wie oben folgt, dafs der Winkel μ zwischen dieser ene und der Ebene $\xi = 0$, sei

$$\cos \mu = \sqrt{\cos^2\alpha + \sin^2\alpha \sin^2\vartheta}.$$

Zur Bestimmung von α und ϑ hat man also die beiden Gleichungen 497

$$\operatorname{tang} \lambda = - \operatorname{tang} \alpha \sin \vartheta$$

$$\cos^2\mu = \cos^2\alpha + \sin^2\alpha \sin^2\vartheta,$$

raus folgt

$$\cos \alpha = \cos \mu \cos \lambda$$

$$\sin \vartheta = \mp \frac{\cos \mu \sin \lambda}{\sqrt{1 - \cos^2\mu \cos^2\lambda}}$$

er

$$\operatorname{tang} \vartheta = \sin \lambda \operatorname{cotang} \mu.$$

enn wir diese Werthe in 4 b) und 4 c) setzen, erhalten wir

$$\operatorname{tang} k = - \frac{\sin \mu \sin \lambda}{\cos \mu + \cos \lambda} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 4\,d)$$

d

$$\tang k' = \frac{\sin \mu \cos \mu \sin \lambda\, (1 - \cos \mu \cos \lambda)}{\sin^2 \mu + \cos^3 \mu \sin^2 \lambda \cos \lambda}.$$

Nach einer ähnlichen Methode findet man

$$\tang k = -\frac{\sin m \cos m \sin l\, (1 - \cos m \cos l)}{\sin^2 m + \cos^3 m \sin^2 l \cos l}$$

$$\tang k' = \frac{\sin m \sin l}{\cos m + \cos l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4\,e)$$

Wann die hier gebrauchten Winkel positiv, wann negativ zu nehmen sind, ist oben festgesetzt worden.

Wenn man statt der Winkel k, μ, λ und k', m, l ihre Hälften in die Gleichungen 4d) und 4 e) einführt, bekommen diese die zur logarithmischen Rechnung bequemere Gestalt

$$\left.\begin{aligned} \tang\left(\frac{k}{2}\right) &= -\tang\left(\frac{\mu}{2}\right)\cdot\tang\left(\frac{\lambda}{2}\right) \\ \tang\left(\frac{k'}{2}\right) &= \tang\left(\frac{m}{2}\right)\cdot\tang\left(\frac{l}{2}\right) \end{aligned}\right\}\ 4\,f)$$

516 **Bestimmung des Drehpunkts der Augen nach Donders.**[1] Es wird zuerst der horizontale Durchmesser der Hornhaut mit dem Ophthalmometer bestimmt. Zu dem Ende bringt man unmittelbar über dem Ophthalmometer eine kleine Flamme an, die von der Hornhaut gespiegelt wird, und neben dem Ophthalmometer ein horizontal verschiebbares Gesichtszeichen, welches von dem beobachteten Auge fixirt wird. Dieses Auge wird übrigens von der Seite her durch eine helle Lampe stark beleuchtet, gegen deren Strahlen das Ophthalmometer geschützt ist. Man sucht nun das Ophthalmometer so einzustellen, dafs jedes Doppelbild des Flammenreflexes mit einem Doppelbild je eines seitlichen Hornhautrandes zusammenfällt. Damit dies für beide Bilder des Lichtreflexes zugleich geschehen kann, mufs die Mitte der Hornhaut gerade gegen das Ophthalmometer gekehrt sein. Um dies zu erreichen, mufs man das Gesichtszeichen so lange hin und herschieben, bis der genannten Forderung Genüge geleistet wird. Der Winkel, um den die Platten des Ophthalmometers gedreht sind, entspricht dann der halben Breite der Hornhaut, und ist diese nach den auf S. 13 gegebenen Regeln daraus zu berechnen. Der Winkel, den die nach dem Auge gerichtete Axe des Ophthalmometers und die nach dem Gesichtszeichen gerichtete Blicklinie des Auges mit einander machen entspricht der Abweichung der Blicklinie von der Axe der Hornhaut.

Um nun den Bogen zu bestimmen, den die Hornhaut beschreiben mufs, um die Länge ihres eigenen queren Durchmessers im Raume zu durchlaufen, wurde vor dem zu untersuchenden Auge ein Ring aufgehängt, in welchem ein feines Haar senkrecht gespannt war. Dann wurde ermittelt, um wieviele Grade (ausgehend von dem Stand, wobei die Hornhautaxe auf das Kreuz des Ophthalmometers gerichtet war) nach beiden Seiten hin visirt werden mufste, damit bei unbeweglich gehaltenem Kopfe nach einander jeder von den Rändern der Hornhaut mit dem Haare zusammenfiel. Die gefundene Anzahl von Graden stellte den Winkel dar, den das Auge hierbei um den Drehpunkt beschrieben hatte. Sehr bald stellte sich heraus, dafs bei normalen Augen dieser Winkel ungefähr 56° betrug. Donders begann deshalb später jede Messung damit, ein Visir 28° nach links, ein anderes ebenso weit nach rechts von dem erstgenannten Visir, welches zur

[1] *Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde.* Bd. III, Hft. 3, S. 260—281.

[Ein]stellung des Lichtreflexes auf die Mitte der Hornhaut gedient hatte, aufzustellen. [De]r Kopf wurde so gedreht, dafs bei dem Fixiren des einen seitlichen Visirs der eine [Ra]nd der Hornhaut mit dem Haar zusammenfiel, und es wurde untersucht, ob beim [Fi]xiren des zweiten seitlichen Visirs der entgegengesetzte Rand der Hornhaut dem Haar [en]tsprach. Nur selten war dies vollkommen der Fall; aber es stellte sich doch heraus, [ob] ein gröfserer oder kleinerer Bogen beschrieben werden mufste. Dem entsprechend [wu]rden dann die beiden seitlichen Visire um gleich viel von dem mittleren entfernt, [od]er ihm genähert, bis man endlich ein genaues Zusammenfallen der Ränder der Hornhaut [mi]t dem Haare erhielt. Indem man nun schnell einige Male abwechselnd nach dem [ein]en und dem andern Visir sehen liefs, wurde der Einflufs einer etwaigen früheren [Be]wegung des Kopfes beseitigt.

Wenn a die halbe Breite der Hornhaut ist, welche man mit dem Ophthalmometer [ge]funden hat, und β der Winkel, um den jedes seitliche Visir, vom beobachteten Auge [ge]sehen, vom mittleren absteht, so ist der Abstand des Drehpunkts von der horizontalen *517* [grö]fsten Sehne der Hornhaut gleich $a \cdot \text{cotang}\ \beta$.

In vielen Fällen, namentlich bei Kurzsichtigen, war die Beweglichkeit des Auges [zu] beschränkt, um die Hornhaut den nothwendigen Raum durchlaufen lassen zu können. [In] diesen Fällen gebrauchte Donders einen mit zwei parallel ausgespannten Drähten, [de]ren gegenseitiger Abstand (3,02 Millimeter) genau bestimmt war, versehenen Ring. [Di]e Visire wurden so gestellt, dafs abwechselnd der eine Draht mit dem Innen-, der [an]dere mit dem Aufsenrand der Hornhaut zusammenfiel. Um den durchlaufenen Raum [zu] ermitteln, war es dann nur nöthig, den Abstand der Drähte von der zuvor gefundenen [Br]eite der Hornhaut abzuziehen, und dieser Werth wurde der ferneren Berechnung zu [Gr]unde gelegt.

Die Resultate dieser Untersuchungen sind schon oben angegeben.

Prüfung des Drehungsgesetzes der Augen mit Hilfe der Nachbilder. [Fü]r normalsichtige Augen und für parallele Stellungen von deren Gesichtslinien ist es [am] einfachsten die Versuche vor einer grofsen mit hellgrauer Tapete überzogenen Wand [an]zustellen, die ein nicht zu scharf gezeichnetes Muster hat, an dem horizontale und [ve]rticale Linien hervortreten. Man befestigt in der Höhe der Augen ein horizontales rothes [Ba]nd, auf dem man sich den Mittelpunkt für die Fixation durch einen schwarzen Punkt [ge]zeichnet. Wenn man diesen Punkt kurze Zeit fixirt und dann nach der Tapete hin[bli]ckt, sieht man ein hellgrünes Nachbild des Bandes, und kann leicht erkennen, ob [da]sselbe den horizontalen Linien des Tapetenmusters parallel läuft, oder von ihrer [Ri]chtung abweicht.

Um die Richtung der Primärstellung der Blicklinie in Beziehung auf den Kopf zu [fix]iren, benutze ich ein Brettchen, welches ein Visirzeichen trägt und zwischen die Zähne [ge]nommen wird. Es ist in *Fig. 210* in geometrischer Projection abgebildet. Das [Br]ettchen AB (43 Centimeter lang, 4 breit) hat bei [A] einen den Zahnreihen entsprechenden bogen[fö]rmigen Ausschnitt, bei B trägt es eine vierkantige [ho]lzerne Säule, an der ein horizontaler Streif CC [au]s steifem Papier mit Klebwachs, und daher leicht [ve]rschieblich, befestigt ist. Die Ränder des Aus[sch]nitts A werden auf beiden Seiten mit einem [W]ulst von heifsem Schellack bedeckt, und wenn [di]eses zu erhärten beginnt, drückt man die beiden [Za]hnreihen in den Schellack ab, indem man das [Br]ettchen fest zwischen die Zähne nimmt. Ist das [Ha]rz erkaltet, so ist nachher die Lage des Brettchens [zw]ischen den Zahnreihen unverrückbar festgestellt, [un]d nach jeder Unterbrechung der Versuche immer [wi]eder in genau unveränderter Weise herzustellen.

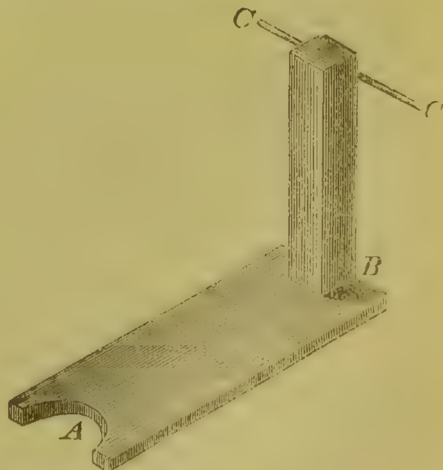


Fig. 210.

Der Papierstreifen CC wird so lang gemacht,

als die Distanz der Drehpunkte der Augen. Man erkennt dies leicht, wenn man nacl einem unendlich entfernten Objecte hinsieht. Dann erscheint der Papierstreifen in einer binocularen Doppelbilde; man macht ihn so lang und dreht ihn so, dafs die einande zugekehrten Enden seiner Doppelbilder gerade auf einander stofsen. Alsdann müsse die spitzen Enden des Streifens von einander um die Entfernung der Drehpunkte (ode eigentlich der Centra der Visirlinien) beider Augen von einander entfernt sein und ihr Verbindungslinie mit der Verbindungslinie der beiden Drehpunkte in einer Ebene lieger

Wenn man nun die Beobachtungen beginnen will, welche entweder mit beide oder mit je einem Auge ausgeführt werden können, ist es nöthig, zuerst die Primär stellung der Augen empirisch zu suchen. Dies geschieht, indem man von der gewählte Stellung aus, der Mitte des rothen Streifens gegenüber an der andern Seite des Zimmer die Mitte des rothen Streifens eine Zeitlang fest fixirt, an dem entsprechenden Ende de Streifens *C C* vorbeiblickend, und dann sein Nachbild entweder gerade nach oben un unten, oder horizontal nach rechts und links verschiebt, und bemerkt, ob dasselbe de horizontalen Linien der Tapete parallel bleibt oder nicht. Ist das letztere der Fall, s
518 mufs man den Papierstreifen des Visirbrettchens verschieben, bis man die richtige Stellun desselben gefunden hat. Und zwar mufs man den Papierstreifen weiter nach link schieben, wenn man nach oben blickend das linke Ende des Nachbildes höher, nac unten blickend dasselbe tiefer stehend findet. Findet man nach oben blickend dagege das rechte Ende des Nachbildes höher, nach unten blickend dasselbe tiefer, so verschiel man nach rechts. Man verschiebe den Streifen dagegen nach oben, wenn man nac links blickend das linke, nach rechts blickend das rechte Ende des Nachbildes tief stehend findet, und umgekehrt.

Hat man endlich für jedes Auge die Stellung des Visirzeichens gefunden, wobei d Auge in die Primärstellung kommt, so ist dadurch zunächst constatirt, dafs es eine Lag des Auges giebt, von der aus sich der Blick horizontal fortbewegt durch Drehung u eine verticale Axe und vertical durch Drehung um eine horizontale Axe.

Während aber bei der Verschiebung des Blicks gerade nach oben oder gerac nach unten, und gerade nach rechts oder links die Nachbilder horizontaler und vertical Urbilder horizontal und vertical bleiben, findet man, dafs dies nicht gilt für die Ve schiebung des Blicks schräg nach aufwärts oder abwärts. Man findet vielmehr, da

1) bei der Richtung des Blicks nach r e c h t s o b e n oder l i n k s u n t e n
    das Nachbild einer H o r i z o n t a l l i n i e gegen die Linien der Wand linl gedreht,
    das Nachbild einer V e r t i c a l l i n i e r e c h t s gedreht erscheint, und
2) bei der Richtung des Blicks nach l i n k s o b e n oder r e c h t s u n t e n
    das Nachbild einer H o r i z o n t a l l i n i e r e c h t s gedreht,
    das einer V e r t i c a l l i n i e l i n k s gedreht erscheint.

Da horizontale und verticale Linien verschiedene Drehung zeigen, so ergiebt si daraus schon, dafs zwischen ihnen Linien existiren müssen, deren Nachbilder d ursprünglichen Richtung parallel sind.

Am einfachsten ist es nun, den Kopf so seitwärts zu neigen, dafs man zur Durc laufung der horizontalen und verticalen Linien der Wand schräge Bewegungen d Auges zum Kopfe auszuführen hat. Dadurch dafs man auch bei solcher Kopfstellu an dem Visirzeichen vorbei nach dem Mittelpunkt des rothen Streifens blickt, siche man sich, dafs man wieder als Anfangstellung die Primärstellung des Auges einhä Die Richtung, in welcher sich die Bilder der beiden Spitzen des als Visirzeichen dienend Papierstreifens auf die Wand projiciren, bezeichnet auf dieser die Richtung der Ve bindungslinie der Drehpunkte. Bei solchen Augen, deren Bewegungen dem Geset von Listing folgen, bleiben dann auch bei seitwärts geneigtem Kopfe die Nachbild horizontaler Streifen den Horizontallinien der Wand parallel, wenn man den Blickpun längs der Verticallinie und der Horizontallinie verschiebt, die durch die Mitte d rothen Streifens gehen. Ebenso verhält es sich mit den Nachbildern eines verticale Streifens in Beziehung auf die verticalen Linien der Tapete.

Diese Beobachtungen, wobei das Nachbild auf eine verhältnifsmäfsig entfernte ınd geworfen wird, haben den Vortheil, dafs kleine Verschiebungen des Kopfes nach hts oder links, oben oder unten, einen verschwindend kleinen Einflufs auf die durch Visirbrettchen gesicherte Lage der Blicklinie haben, und dafs ferner die Augen von bst in paralleler Stellung erhalten werden. Dagegen sind die Wände unserer Zimmer der Regel nicht grofs genug, um auch die Prüfung in den extremen Stellungen der cklinie bei hinreichend grofser Entfernung von der Wand vornehmen zu lassen, und Kurzsichtige ist diese Beobachtungsart nicht zu gebrauchen, weil sie ohne Brille ht für die Wand accommodiren können, und Brillengläser, wenn sie nicht centrisch l senkrecht zur Gesichtslinie stehen, die scheinbare Neigung der gesehenen Linien ändern können. Für Beobachtungen in der Nähe habe ich die von mir früher chriebene Methode abgeändert, um auch den Einflufs der Convergenz sicherer unterhen und die Gröfse und Form des Gesichtsfeldes bestimmen zu können.

Als Gesichtsfeld dient eine an der Wand befestigte grofse hölzerne Tafel, die mit grauem Papier glatt überzogen ist. Um die Stellung des Kopfes vor dieser sicher ren zu können, ist vor ihr in einer für die Accommodation des Beobachters passenden fernung ein kleines Tischchen aufgestellt und mit eisernen Klammern am Boden estigt. Auf dem Tischchen ist ein eiserner Halter mit beweglichen Armen befestigt, man ihn in chemischen Laboratorien vielfach gebraucht, und dieser hält ein 519
ttchen ähnlich dem der *Fig. 210*, aber ohne die Säule und das Visirzeichen. Das ttchen dient nur dazu, dem Kopfe des Beobachters, wenn er die Zähne darauf fest st, eine sichere Stellung der Tafel gegenüber zu geben. Mittels der Zähne kann die llung des Kopfes viel besser gesichert werden, als durch irgend welche Befestigung, che nur die Weichtheile desselben unmittelbar unterstützt. Ein zweiter verstellbarer izontaler Arm des Halters wird so festgeschraubt, dafs die Stirn gegen ihn anliegt. der Tafel wird dann, dem einen oder andern Auge gegenüber, ein passend gefärbter eif aus sehr steifem Papier oder dünnem Holz befestigt, der in seiner Mitte mit einem chknöpfchen, und um dieses drehbar, befestigt wird. Den Streifen mache ich entweder weifs und halb schwarz, oder halb grün und halb roth, so dafs die Trennungslinie ler Farben der Länge des Streifens parallel durch die Mitte seiner Breite hinläuft. se Trennungslinie giebt dann ein gut gezeichnetes Nachbild. Ferner werden feine warze Fäden horizontal und vertical über die Mitte des Streifens hingespannt, und Stellung des Zahnbrettchens so lange geändert, bis die Nachbilder des horizontalen eifens längs des horizontalen Fadens verschoben diesem parallel bleiben, und ebenso Nachbilder des vertical gestellten Streifens längs des verticalen Fadens. Dabei ist zu bemerken, dafs die Gesichtslinien parallel gehalten werden müssen, und um dies controlliren, mache ich in der Entfernung meiner Augen von einander (68 Millimeter) kte auf den Stellen der Tafel, nach denen ich hinblicke, den einen dicht an der ie, nach der ich hinblicke, den andern in gleicher Höhe seitwärts, so dafs, wenn die beiden Punkte mit parallelen Gesichtslinien betrachte, sie sich scheinbar inigen.

Auf diese Weise kann man die Primärlage des einen oder andern Auges finden, sie liegen bei mir um die Distanz der Augen selbst von einander entfernt, — dann n man nachher dem Streifen, von dem das Nachbild genommen wird, beliebige äge Richtungen geben, und Fäden über seine Mittellinie hinspannen, um längs dieser Nachbilder zu verschieben. Um convergente Gesichtslinien zu haben, kann man, ndem das Nachbild in einem Auge entwickelt ist, entweder einen Punkt der Tafel st mit beiden Augen fixiren, oder beliebige hingesetzte Punkte mit convergenten oder kreuzten Blicklinien zusammenfallen machen.

Wenn dann, wie bei Convergenzstellungen, die Nachbilder nicht genau mit dem en zusammenfallen, längs dessen Richtung man den Blick hinbewegt hat, so kann den Streifen selbst schief gegen den Faden stellen, und diejenige Stellung desselben en, deren Nachbild dem betreffenden peripherischen Theile des Fadens parallel wird. Winkel zwischen dem Streifen und dem Faden läfst sich leicht berechnen, wenn

man den Abstand mifst, den der über den Streifen laufende Faden an beiden Ende desselben mit seiner Mittellinie macht. Oder bequemer, kann man auch gleich auf de beiden Enden des Streifens eine Gradeintheilung anbringen, die nur wenige Grade z umfassen braucht.

Die Genauigkeit, mit welcher die Vergleichung der Richtung der Nachbilder m der der Fäden geschieht, geht bis zu einem halben Grade etwa. Das ist freilich kein mit der von astronomischen Beobachtungen zu vergleichende Genauigkeit; aber ic glaube, es wäre bei der Natur des Gegenstandes illusorisch, nach einer sehr vi gröfseren Genauigkeit zu streben. Denn schon bei diesen Beobachtungen findet ma gewisse kleine Veränderungen, die nicht blos von der Convergenz, sondern auch vo dem Wege abhängen, auf dem das Auge in die betreffende Stellung gebracht worden is und selbst an verschiedenen Tagen zu wechseln scheinen. Solche habe ich selbst nicl ganz selten gesehen, namentlich bei Schrägstellungen des Auges, noch deutlicher un gröfser waren sie bei Dr. Berthold, der in meinem Laboratorium arbeitete, und ic vermuthe, dafs sie überhaupt bei kurzsichtigen Augen gröfser sein werden, weil dies hauptsächlich auf nahe Gegenstände angewiesen, an diesen je nach dem Grade d Convergenz stärker wechselnde Raddrehungen bei derselben Richtung der Blicklin einüben müssen.

Herr E. Hering hat Versuche zur Controlle der Genauigkeit der Nachbildversucl angestellt, aus denen er schliefst, dafs Irrthümer in der Vergleichung ihrer Richtu mit objectiven Linien vorkommen könnten, welche einen Spielraum bis zu 5 Grad hätte
520 Solche Irrthümer mufs ich bei gut entwickelten Nachbildern nach scharfer Fixation d Objects für geradezu unmöglich erklären; ich habe schon vorher angeführt, dafs b sorgfältiger Anstellung der Versuche die Fehler einen halben Grad nicht überschreite Abweichungen von einem Grad, die ich an dem beschriebenen Apparat leicht absichtli herstellen konnte, sind bei guter Ausführung des Versuchs sicher zu erkennen. I schliefse vielmehr aus den Versuchen von Hrn. E. Hering, dafs sein Auge entsprechen Schwankungen in seiner Stellung ausgeführt hat, was namentlich dadurch bedingt se kann, dafs er das fixirte Object in 10 Zoll Entfernung vor sich hatte, und bei einäugig längerer Betrachtung eines so nahen Objects starke Schwankungen der Convergenz v zukommen pflegen.

Die Methode der Nachbilder ist unter den bisher bekannten Methoden zur B stimmung der Stellung eines jeden einzelnen Auges, unabhängig vom andern, die z verlässigste, wenn sie gut eingeübt ist. Sie erfordert namentlich in der Form, wie i sie oben beschrieben habe, nicht, — was mir von grofsem Gewicht zu sein scheint, dafs das Auge lange in peripherischen Stellungen verweile, sondern jeder einzelne Versu ist schnell beendet.

Auch die Methode von Wundt [1] benutzt die Nachbilder zur Bestimmung der Auge stellungen. Derselbe entwirft die Nachbilder auf eine verstellbare und gegen die Bli linie immer senkrecht stehende Scheibe, die an einem beweglichen Hebelarm befesti ist. Sein Apparat hatte Winkeltheilungen, um die oben als *Longitudo*, *Latitudo* b zeichneten Winkel und die Raddrehung des verticalen Meridians gegen die Verticalli abzulesen.

Prüfung des Drehungsgesetzes mittels des blinden Flecks. Di Methode erlaubt ebenfalls, die Stellung jedes einzelnen Auges ganz unabhängig v andern zu bestimmen. Sie wurde zuerst von A. Fick [2] angewendet. An der grau Wand eines geräumigen Zimmers war in der Höhe, in welcher sich das Auge des einem Stuhle sitzenden Beobachters befand, ein geeignetes kleines Fixationsobject gebracht, ein weifser Kreis mit schwarzem zackigen Rande. Für das Auge wurde etwas über 6 Meter entfernter Standort so gewählt, dafs die Sehlinie, wenn sie Object fixirte, die erwähnte Wand senkrecht traf. Unter diesem Standort waren

---

[1] W. Wundt, *Archiv für Ophthalmologie*, Bd. VIII, 2, S. 16 und 17.

[2] A. Fick, *Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen.* V, 193—233.

›den die Stellungen bezeichnet, welche die Füſse des Stuhles haben muſsten, wenn seine ›rdere Kante bestimmte Neigungen gegen die Wand haben sollte. Bei allen diesen ellungen des Stuhles blieb die Mitte zwischen den hinteren Füſsen an demselben Platze. ICK saſs auf diesem Stuhle, den Rücken angelehnt, den Kopf gerade aus gerichtet, und ıd, daſs er auf diese Weise genügend sicher die Medianebene des Kopfes senkrecht zu r anderen Kante des Stuhles einstellte. Um die Neigung des Kopfes gegen die ›rizontale zu beurtheilen, wurde ein hölzerner über den Kopf gehender Bügel mittels ›eier Schrauben in den Gehörgängen befestigt und ein von seiner Mitte herabgehender bogener Eisenstab auf die Nasenwurzel gestützt. Der Bügel hatte somit eine feste ıge zum Kopfe. An der in das linke Ohr gehenden Schraube hing ein Loth, das vor ıem mit dem Bügel fest verbundenen Gradbogen spielte. So konnte die Neigung des ›pfes oder einer in der Medianebene gedachten Geraden gegen den Horizont bestimmt ›rden.

An der Wand war ein Blatt grauen Cartons drehbar um einen Stift im Fixations- ınkte befestigt. Mittels einer über eine Rolle laufenden Schnur konnte der Beobachtende ın Carton drehen. Auf diesem war ein schwarzer Fleck gemalt, in einer solchen Ent- ›rnung, daſs er bei passender Einstellung in den blinden Fleck fiel. Ein Gehülfe las die eigung des Kopfes ab, und wenn eine bestimmte Neigung hergestellt war, stellte sich ›r Beobachter mittels der Schnur den Carton so, daſs der schwarze Fleck verschwand. ı einer Tangentenskala konnte die Drehung des Cartons abgelesen werden. So wurde ›stimmt, um wie viel das Auge gegen seine Anfangsstellung gedreht war. Die Drehung ›s Stuhles maſs den als *Longitudo* bezeichneten Winkel, der Gradbogen am Ohr die *atitudo*. Es kamen bei Wiederholung der Versuche Differenzen der Raddrehungswinkel ›r bis zu 3 Grad; wenn man die Stifte, die in die Ohren gesteckt waren, mit der ›hne des Stuhles fest verbände und einen recht hellen weiſsen Fleck auf dunklem 521 ›unde gebrauchte, der der Projection des blinden Flecks an Gröſse und Gestalt genau ıtspräche, würde sich vielleicht eine gröſsere Genauigkeit dieser Methode erreichen lassen.

MEISSNER [1] hat den Kopf festgestellt und das Gesichtszeichen, auf welchem sich der ınkle Fleck befand, bewegt. Der Kopf wurde zu dem Ende passend so festgestellt, ıſs sich das Auge in dem Mittelpunkte eines verticalen halben Gradbogens von 10 Zoll ıdius befand, der um seine verticale Axe um einen zu messenden Winkel gedreht ›rden konnte (FICK's *Longitudo*, MEISSNER's *Latitudo*). An dem Gradbogen verschieblich, ı einen Winkel, der abgelesen werden konnte (FICK's *Latitudo*, MEISSNER's *Longitudo*), fand sich ein Schieber, der an seiner dem Centrum zugekehrten Seite, um eine eben hin gerichtete Axe drehbar, die Scheibe mit dem dunklen Flecke trug. MEISSNER's ›sultate sind in der hier folgenden Tabelle zusammengestellt; und zwar ist der ımittelbar abgelesene Winkel, der dem k' der Gleichung 4e) entspricht, angegeben.

		Nasenwärts				Schläfenwärts		
		+30°	+20°	+10°	0°	−10°	−20°	−30°
Gehoben	− 30°	− 3°	0°	+ 2°	0°	+ 3°	+ 6°	+10°
	− 15°	+ 0°,5	+ 1°,5	+ 2°,5	0°	+ 1°,5	+ 3°	+ 5°
	0°	+ 7°	+ 5°	+ 4°	0°	0°	0°	0°
	+ 15°	+12°,5	+ 8°,5	+ 5°	0°	− 1°,5	− 2°,5	− 5°
Gesenkt	+ 30°	+19°	+13°	+ 7°	0°	− 3°	− 6°	− 9°,5
	+ 35°	+20°,5	+14°	+ 7°,5	0°	− 3°	− 7°	−10°
	+ 40°	+20°,5	+14°	+ 7°	0°	− 3°	− 7°,5	−11°
	+ 45°	+21°	+14°,5	+ 7°	0°	− 3°	− 8°	−12°
	+ 50°	+21°,5	+14°,5	+ 7°	0°	− 3°	− 8°,5	−13°

[1] MEISSNER, *Zeitschrift für rationelle Medizin.* Reihe 3, Band VIII.

Der ziemlich unregelmäfsige Gang der Werthe macht es wahrscheinlich, c Convergenzänderungen, die bei einäugiger Fixirung eines sehr nahen Objects schwer vermeiden sind, Einflufs gehabt haben. MEISSNER selbst betrachtet seine Versuche annähernd übereinstimmend mit dem Gesetze von LISTING, glaubt aber, dafs für nasenwärts gerichteten Stellungen eine andere Primärlage zu nehmen sei, die unter 4 gegen die Horizontale nach unten gerichtet ist, für die nach aufsen gewendeten Stellun dagegen liege die Primärlage in der Horizontalebene selbst. Um dieses Verhältnifs her treten zu lassen, hat er die Versuche noch einer Umrechnung unterworfen.

Von FICK's Versuchen habe ich die Mittelwerthe in der folgenden Tabelle zusamm gestellt.

Longitudo	*Latitudo*										
	—33°	—30°	—28°	—14°	—11°	—6°	0°	+1°	+4°	+18°	+4
— 29°			—4°,7								
— 26°					+3°,5						
— 21°									+1°,5		
— 14°		— 2°								+5°,7	
— 13°				+2°,5							
— 10°								+2°			
0°	+ 2°,5						0°				+(
+ 10°								+0°,1			
+ 13°				+ 1°,7						—1°,8	
+ 14°		—4°,7									
+ 21°									—0,°3		
+ 26°					+3°,4						
+ 29°			+7°,5								
+ 38°						+2°,9				—3°,3	

522 Prüfung der Augenstellungen mittels der Vergleichung corı spondirender Bilder beider Augen. Die hierher gehörigen Methoden lassen, v es scheint, eine viel gröfsere Genauigkeit zu, als die Methode der Nachbilder; können aber nur dazu dienen, die Stellungen beider Augen mit einander zu vergleich nicht die Stellung eines jeden einzelnen Auges zu finden. Sie sind deshalb sehr brauchb um die kleinen individuellen Abweichungen der Bewegungen vom LISTING'schen Ges zu finden. Auch kommt es in gewissen Fällen, namentlich für die Theorie (binocularen Sehens gerade wesentlich darauf an, die Differenzen in der Stellung beic Augen zu finden.

Die erste Anwendung dieser Methoden rührt von MEISSNER[1] her. Er machte dar aufmerksam, dafs, wenn man einen gerade vor sich und normal zur Blickebene gehalten Draht so betrachte, dafs man die Augen auf einen nahe vor oder nahe hinter dem Dral gelegenen Punkt convergiren lasse, der Draht der Regel nach nicht in parallelen Dopp bildern erscheine, sondern in solchen, die eine gewisse Neigung gegen einander hab und dafs man den Draht selbst gegen die Visirebene neigen müsse, um ihn in parallel Doppelbildern zu sehen. Aus der Lage des Drahtes gegen die Visirebene ergab si dann leicht die Stellung, welche die verticalen correspondirenden Meridiane beid Augen haben, und daraus kann man die Raddrehung des Auges wenigstens für (medianen Lagen des Convergenzpunktes ableiten. MEISSNER fand durch die nach dies von ihm sehr sinnreich erdachten Methode ausgeführten Untersuchungen im Wesentlich das Gesetz von LISTING bestätigt, wenn auch gewisse Fehlerquellen, die erst dur spätere Untersuchungen aufgefunden wurden, gewisse Correctionen seiner Resulta

[1] G. MEISSNER, *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans*, 1851.

›thwendig machen möchten. Erstens nämlich kannte er noch nicht den Unterschied er scheinbar verticalen Meridiane des Auges von den wirklichen, und glaubte, der üher allgemein gemachten Annahme entsprechend, dafs unendlich entfernte Verticalnien sich auf identischen Meridianen beider Augen abbilden müfsten, was bei den eisten Augen nicht der Fall ist. Zweitens kannte er nicht den von VOLKMANN aufɔfundenen Einflufs der Convergenz auf die Raddrehungen jedes einzelnen Auges. Auch ann wohl die Beurtheilung des Parellelismus der Doppelbilder durch den Umstand einträchtigt werden, dafs das eine Ende des Drahtes den Augen bald um eine gröfsere, ld um eine kleinere Strecke näher ist, was der Beobachter weifs und wahrnimmt, und ıfs dadurch die Anschauung des Parallelismus der Doppelbilder als zweier geneigter ›rperlichen Linien sich einstellen kann, statt der Anschauung ihres Parallelismus im esichtsfelde, auf die es ankommt.

Es möchte deshalb die von VOLKMANN [1] gemachte Abänderung des Verfahrens von EISSNER zweckmäfsiger sein: VOLKMANN hat an einer vor den Augen gelegenen senkchten Wand zwei Drehscheiben so angebracht, dafs der Drehpunkt einer jeden in der licklinie des bezüglichen, auf unendliche Ferne gerichteten Auges liegt. Auf jeder heibe ist eine feine Linie verzeichnet, welche das Centrum der Scheibe schneidet und so mit der Umdrehung dieser ihre Lage ändert. Zur Bestimmung der Lagenveränderung t im Umkreise der Scheibe ein Gradmesser angebracht. Der Beobachter betrachtet die iden auf den Scheiben verzeichneten Linien unter minimaler Convergenz der Augen, dafs er sie in wenig distanten Doppelbildern sieht, und sucht diese Doppelbilder durch rehung der einen Scheibe parallel zu stellen.

Durch häufige Wiederholung solcher Einstellungen kann man sehr genaue Mittelerthe erlangen. VOLKMANN hat diese Methode zwar nicht für verschiedene Kopfstellungen gewendet, um Schlüsse über die Bewegungen zu machen, aber sie läfst sich dazu wenden, wenn man die Scheiben bei verschiedenen Kopfstellungen betrachtet.

VOLKMANN's Apparat läfst sich, wie ich gefunden habe, hierfür noch zweckmäfsig reinfachen. Für die Prüfung der Parallelstellungen meiner eigenen Augen habe ich an ner verticalen Holztafel zwei durch kleine Gewichte gespannte Fäden aufgehängt, einen eifsen vor schwarzem Grunde und einen schwarzen vor weifsem Grunde. Die Entfernung r Stifte, an denen die Fäden hingen, wurde so gewählt, dafs bei den Beobachtungen e fixirten Mittelpunkte der Fäden die Distanz meiner Augen, 68 Millimeter, hatten. 523
ach unten hin lehnten sich die Fäden an zwei Nadeln, die in das Holz eingesteckt aren und die Fäden etwas convergiren machten. Hinter der Mitte der Fäden, die zu iren war, war eine horizontale Linie gezogen, gerade in der Höhe meiner Augen. Die iden wurden mit parallel gerichteten Gesichtslinien betrachtet, wobei sie in denselben rt des gemeinschaftlichen Sehfeldes zu liegen kommen, und die Nadel am unteren Ende s einen wurde so lange verschoben, bis sich die Fäden nicht mehr kreuzten, und bei hwacher Convergenz nicht mehr in divergenten, sondern in parallelen Bildern erschienen. adurch dafs man den Fäden verschiedene Farbe giebt, läfst sich ihre Congruenz im esichtsfelde besser beurtheilen, als wenn sie gleichfarbig sind, wobei sie leicht stereoopisch verschmelzen, selbst wenn sie sich durchaus noch nicht decken. Wenn man sie s nahe Doppelbilder sieht, so erscheinen ihre Mitten getrennt und ihre Enden vereinigt. an mufs dann darauf achten, dafs die Vereinigung nach oben und nach unten hin in rselben Weise vor sich geht.

Indem ich den Kopf vornüber und hintenüber neigte, konnte ich diese Versuche mit rallel gesenkten und parallel gehobenen Gesichtslinien wiederholen, und fand in der hat kleine Abweichungen von dem durch LISTING's Gesetz hierbei geforderten vollmmenen Parallelismus ihrer Stellungen, so dafs der Winkel der scheinbar verticalen eridiane bei parallel bis zur oberen Grenze des Blickfeldes gehobenen Blicklinien um ',3 gröfser ist als bei parallelem tiefsten Stande der Blicklinien, und sich hierbei im steren Fall das obere Ende des verticalen Meridians jedes Auges um 0°,15 mehr nach

[1] A. W. VOLKMANN, *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik*. Leipzig, 1864. Heft 2, S. 199—240.

aufsen gedreht findet, als in der zweiten Stellung. Bei späteren Wiederholungen di Versuche fand ich es noch vortheilhafter, dem einen Auge als Object einen geradli begrenzten rothen Streifen von 3 Millimeter Breite, dem andern einen blauen Fa beide auf schwarzem Grunde, zu zeigen. Der Faden mufs in der Mitte des rot Streifens erscheinen.

Volkmann selbst hat seine Versuche über die Augenstellungen nach einer änderung dieser Methode ausgeführt. Nämlich statt der Drehscheiben mit Durchmess wendete er solche mit je einem ausgezogenen Radius an, und bemühte sich bei binocula Betrachtung diese Radien scheinbar in eine gerade Linie zu stellen. Der Kopf wu dabei passend festgestellt; die Drehscheiben wurden in zwei dunkle Röhren eingese welche mittels passender Gelenke beliebig gerichtet werden konnten, so dafs jedes A durch je eine Röhre auf eine Drehscheibe hinsah, und dieselbe immer senkrecht Blicklinie des Auges eingestellt blieb.

Versuche mit parallelen Gesichtslinien angestellt ergaben, dafs die Abweichun beider Augen von der durch das Listing'sche Gesetz geforderten Congruenz Volkmann's Augen sehr gering sind. Beim Blicke gerade nach oben oder nach unt gerade nach rechts oder links von einer Stellung aus, welche Volkmann mittels Nachb versuchen als Primärstellung gefunden hatte, ergaben die Versuche gar keine Differe Richtungen der Blicklinie schräg nach oben oder unten dagegen gaben kleine Abweichung Die folgenden Zahlen sind Mittelzahlen aus je 60 Beobachtungen, wobei in je 30 der bew liche Radius dem rechten, in je 30 anderen dem linken Auge angehörte, und geben Kreuzungswinkel der scheinbar eine senkrechte gerade Linie bildenden Radien

Primärstellung:	2°,21
30 Grad nach oben rechts:	2°,74
Ebenso weit nach oben links:	2°,92
Ebenso nach unten links:	1°,31
Ebenso nach unten rechts:	1°,41.

Die gröfste Abweichung von dem Winkel der Primärstellung ist 0°,9, was für je Auge bei gleichmäfsiger Vertheilung des Fehlers 0°,45 geben würde, eine Gröfse, durch Versuche mit Nachbildern allerdings nicht mehr zu entdecken sein würde.

Volkmann fand ferner nach derselben Methode, dafs bei Convergenz auf ei 30 Centimeter entfernten Punkt in der Horizontalebene der Winkel der schein verticalen Meridiane von 2°,15 bis auf 4°,16 stieg, so dafs sich jedes Auge dabei
524 etwa einen Grad drehte, was bei derselben Richtung der Gesichtslinie und paralle Stellung der anderen Gesichtslinie nicht der Fall gewesen sein würde.

Ich finde an meinen eigenen Augen eine sehr kleine Abweichung bei der Converge aber in demselben Sinne wie Volkmann. Die Beobachtung geschah mittels eines fei schwarzen Fadens, dessen Mitte durch ein Nadelöhr gezogen war. Die Nadel war in d ebenen Felde einer weifs angestrichenen Thür in der Höhe meiner Augen befestigt, Enden des Fadens waren über zwei andere in gleicher Höhe befestigte Nadeln geleitet u durch Gewichte gespannt. Der Faden bildete also zwei gerade Linien, die in d Nadelöhr unter einem veränderlichen Winkel zusammenstiefsen. Je nachdem man seitlichen Nadeln etwas höher oder tiefer einsteckte, konnte man diesen Winkel na oben oder nach unten sich öffnen lassen. Die beiden Schenkel des Winkels blieben da immer in einer der Thürfläche parallelen Ebene. Wenn ich mit parallelen Gesichtslin sehen wollte, hielt ich vor die mittlere Nadel einen senkrechten Streifen steifen Papi von 68 Millimeter Breite. Bei parallelen Blicklinien treffen dann die noch sichtba seitlichen Theile der Fäden scheinbar in der Mitte zusammen und bilden einen Wink Ich veränderte die Stellung der Nadeln so lange, bis mir dieser Winkel gleich zw Rechten erschien, also seine beiden Schenkel in eine gerade Linie fielen. Dann fixi ich das Oehr der Nadel aus 20 Centimeter Entfernung, während ich zwischen mein Nasenrücken und der Nadel ein Blatt Papier so anbrachte, dafs ich mit jedem Au nur die gleichseitige Hälfte des Fadens sehen konnte. Wenn die Fixation auch in d

märstellung der Visirebene geschah, erschien mir der Faden doch nicht mehr adlinig, sondern ich mufste die eine Hälfte desselben etwas senken, damit er wieder adlinig erschien. Die der Convergenz auf 20 Centimeter entsprechende Drehung jedes iner Augen würde hiernach 17 Minuten (0°,28) betragen, während sie bei Volkmann 37 betrug.

Bei Volkmann ist diese Drehung stark genug, dafs er sie an dem Nachbilde einer ärbten verticalen Linie wahrnehmen kann, welche er mit einem Auge bei parallelen klinien fixirt hat, wenn er das Nachbild nachher mit convergenten Blicklinien dicht en die Linie entwirft. Dasselbe gelang auch Prof. Welcker bei Volkmann. Ganz liche Versuche hatte übrigens auch J. B. Schuurman [1] angestellt mit negativem Erfolge, rend Prof. Donders bei angestrengter Convergenz Drehungen von 1° bis 3° bemerkte, demselben Sinne wie Volkmann und ich. Viel deutlichere Abweichungen, durch vergenz bewirkt, bemerkte ich, wie schon oben gesagt ist, bei der Untersuchung der chbilder in peripherischen Stellungen der Blicklinie.

Bestimmungen der Ansatzpunkte und Drehungsaxen für die Augen-skeln. Die Wirkung dieser Muskeln ergiebt sich leicht aus ihrer Lage und Befestigung. ihre Sehnen alle eine Strecke über den Augapfel hin verlaufen und sich seiner lbung anlegen, wie Bänder, welche über eine Rolle laufen, so üben alle diese Muskeln en Zug auf den Augapfel in tangentialer Richtung aus. Um die Richtung dieses ges genauer zu bestimmen, mufs man durch den Punkt, wo sich die Sehne anlegt, e Tangente an den Augapfel legen, welche für den oberen schiefen Augenmuskel nach sen Sehnenrolle hin zu ziehen ist, für die übrigen Muskeln dagegen nach ihrem ochernen Ursprunge hin.

Da der Augapfel in seiner natürlichen Befestigung nur Drehungen um seinen telpunkt ausführt, so haben wir die Wirkung der Muskeln auch nur insofern zu chten, als dadurch solche Drehungen entstehen. Wird ein Körper, der frei um einen kt drehbar ist, wie der Augapfel, durch eine Kraft excentrisch angegriffen, so findet n die Richtung der daraus entstehenden Drehung, wenn man durch die Richtung der gkraft und durch den Drehpunkt eine Ebene legt und im Drehpunkt auf dieser ein h errichtet. Dieses Loth ist die Axe der betreffenden Drehung. Die Richtung des ges ist, wie wir gesehen haben, bestimmt durch den Punkt, wo sich die Sehne an den skel legt, und den Punkt, wo der Muskel (oder beziehlich seine Sehnenrolle) am ochen festsitzt. Durch diese beiden Punkte und den Drehpunkt des Auges ist also esmal die Lage der zur Drehungsaxe normalen Ebene bestimmt. Wenn man also 525
Lage jener drei Punkte geometrisch bestimmt, läfst sich daraus die Lage der hungsaxe finden.

Solche geometrische Bestimmungen sind von Ruete [2] und A. Fick gemacht worden. te nahm zuerst die Schädeldecke durch einen Sägenschnitt nahe über der Orbita , stellte dann den Kopf so auf, dafs er die Stellung hatte, die er im Leben bei echter Stellung zu haben pflegt. Darauf wurde ein Sägenschnitt in der Mitte schen beiden Augenhöhlen perpendiculär durch das *Os frontis*, durch die Mitte der *sta galli*, der *Sella turcica* und den Rücken der Nase so tief heruntergeführt, er einen geraden, vorn überstehenden Draht fest einlegen konnte, in einer Richtung, mit den gerade nach vorn und horizontal gewendeten Sehaxen parallel stand, um später nach dieser Linie orientiren zu können. Darauf wurden beide Augen bis zu malen Spannung aufgeblasen, dann horizontal parallel gerichtet und durch jedes ge ein feiner, sehr zugespitzter Stahldraht in der Richtung der optischen Axe bis ten in den Knochen der Orbita langsam rotirend durchgestofsen, um die Augen in r Lage zu fixiren. Um die Lage der Augen noch mehr zu sichern, wurde in einigen len auch noch eine Decke von Gyps über die geschlossenen Augenlider gegossen.

Darauf wurden die Augenhöhlen vorsichtig von oben geöffnet und die Ursprünge

[1] J. B. Schuurmann, *Vergelijkend Onderzoek der Beweging van het Oog; Academisch Proefschrift.* Utrecht 1863.
[2] Ruete, *Ein neues Ophthalmotrop.* Leipzig 1857.

und Insertionen der Muskeln sorgfältig frei präparirt, ohne von dem dazwischenliegen Fett mehr wegzunehmen, als zur Darstellung der genannten Punkte nöthig war. Winkel, welche die Muskeln mit der optischen Axe bildeten, wurden dadurch gemes dafs winkelig gebogene Drähte angelegt wurden. Die Abstände der Ursprünge Insertionen der Muskeln vom Mittelpunkte der Augen nach oben und unten, nach re und links, nach hinten und vorn mafs er mit dem Zirkel. Die Messungen wurden drei Beobachtern wiederholt.

In letzterer Beziehung möchte es indessen wohl vorzuziehen sein, die Entfernun der Muskel-Ursprünge und Ansätze, des Scheitels der Hornhaut und des Sehnerveneint von drei festen Punkten zu messen, wie Fick gethan hat, und danach die Coordin und die Lage des Mittelpunkts des Augapfels zu berechnen, da die Lage des letz anatomisch nicht charakterisirt ist, und directe Messungen des senkrechten oder h zontalen Abstandes zweier nicht genau senkrecht oder horizontal neben einander lieger Punkte mit dem Zirkel ziemlich unsicher bleiben müssen Im Mittel aus den Messun an vier Köpfen giebt Ruete folgende Werthe in Millimetern, wobei die x Mittelpunkt des Auges horizontal nach aufsen, die y nach hinten, die z senkrecht n oben gehen.

	Ansätze			Ursprünge		
	x	y	z	x	y	
Rectus superior	+ 2,00	— 5,667	+ 10	— 10,67	+ 32	+
„ inferior	+ 2,20	— 5,767	— 10	— 10,8	+ 32	—
„ externus	+10,80	— 5,00	0	— 5,4	+ 32	
„ internus	— 9,90	— 6,00	0	— 14,67	+ 32	
Tendo obliqui superioris	+ 2,00	+ 3,00	+ 11	— 14,1	— 10	+
Obliquus inferior	+ 8,00	+ 6,00	0	— 8,1	— 6	

Durchmesser des Auges = 24 Mm.

Die Angaben von A. Fick sind folgende:

	Ansätze			Ursprünge		
	x	y	z	x	y	z
Rectus superior	0	— 7,9	+ 9,1	— 16	+ 31	+
„ inferior	0	— 7,9	— 9,1	— 17	+ 30	+
„ externus	+ 9,1	— 7,9	0	— 15	+ 31	+
„ internus	— 9,1	— 7,9	0	— 18	+ 30	+
Obliquus superior	+ 4,6	+ 2,7	+ 9,9	— 19,6	— 10,9	+1
„ inferior	+10,4	+ 6,0	0	— 18	+ 30 (?)	+
Sehnerveneintritt	+ 3,4	+11,5	0			
Scheitel der Cornea	0	—12	0			

526 Die Werthe von y und z für den Ursprung des *Obliquus inferior* müssen, wie Ru schon bemerkt hat, fehlerhaft sein; beide sind nämlich jedenfalls negativ.

Die Lage der Drehungsaxen hat Ruete aus seinen Coordinatenmessungen berech und giebt folgende Werthe für die Winkel a, b, c, welche die (nach unserer Bezeichn negative) Drehungshalbaxe mit den Richtungen beziehlich der positiven x, y und z mac

	a	b	c
R. internus	90°	90°	180°
R. externus	90°	90°	0°
R. superior	$161\frac{1}{2}$°	$109\frac{1}{2}$°	90°
R. inferior	19°	71°	90°
Obl. superior	51°	141°	$84\frac{1}{2}$°
Obl. inferior	127°	37°	90°

Wie die Drehungen um verschiedene Axenpaare sich zusammensetzen, ist oben rtert worden; da die Anschauung dieser Verhältnisse schwer übersichtlich zu machen hat RUETE [1] zuerst unter dem Namen Ophthalmotrop ein drehbares Modell der beiden gen construirt, an welchem die Muskeln durch entsprechend gezogene Fäden dargestellt d, die durch Federn gespannt werden, und deren Verschiebungen man an einer Skale esen kann. Zur Versinnlichung der Vorgänge wird in der Regel die von KNAPP verfachte Form des Instruments genügen, welche in *Fig. 211* dargestellt ist. Die beiden nstlichen Augäpfel sind ttels eines Kugelgelenks ihren Mittelpunkt drehder Aequator, die Hornt, der verticale und horitale Meridian sind auf en angegeben, und starke lene Fäden verschiedener be an denjenigen Stellen estigt, wo sich die Muskeln Augapfel befestigen. Da. die Fäden die Richtung Muskeln erhalten, sind von ihnen, welche den geraden Augenmuskeln sprechen, durch vier nahe en einander liegende cher des Brettchens *A* ogen, und hängen hinter n Brettchen durch Gehte ausgespannt herab. ei von den Fäden aber, die beiden schiefen Augen-

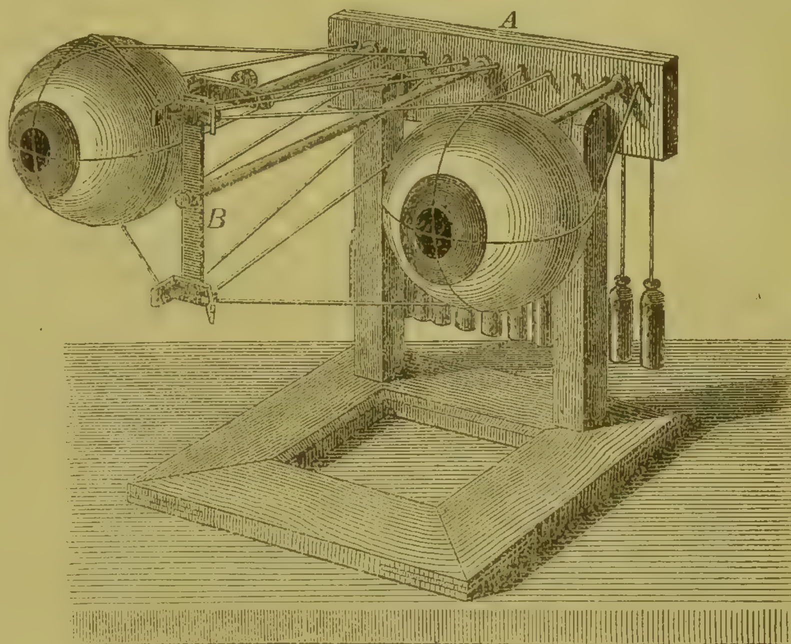


Fig. 211.

skeln an jedem Auge entsprechen, sind über die kleinen Rollen am oberen und eren Ende des verticalen Messingbalkens *B* gezogen und dann um die Rollen herum h der Mitte des Brettchens *A* geleitet, wo sie ebenfalls durch Löcher gehen und durch wichtchen gespannt sind. Die gleichnamigen Muskeln beider Augen sind durch gleichbige Fäden dargestellt. Macht man nun mit einem oder beiden Augäpfeln eine ebige Drehung, so werden diejenigen Fäden angezogen, welche Muskeln entsprechen, bei der betreffenden Bewegung des Auges gedehnt werden, und also der Bewegung erstehen würden. Umgekehrt werden diejenigen Fäden nachlassen und ihre Gewichte ken, deren entsprechende Muskeln am Auge sich bei den betreffenden Bewegungen 527
kürzen, und die also im Stande sind, die Bewegung hervorzubringen oder zu unterzen. Indem man also darauf achtet, welche Gewichte und um wie viel sie herabgen, kann man unmittelbar sehen, welche Muskeln und mit welcher Intensität etwa Thätigkeit versetzt werden müssen, um die betreffende Bewegung hervorzubringen. Demonstrationen und namentlich um schnell eine Uebersicht über die oft sehr verkelten Verhältnisse der pathologischen Abweichungen zu gewinnen, ist der Apparat geeignet.

Ein anderes Ophthalmotrop hat WUNDT [2] construirt, an welchem die Fäden Spiralfedern verbunden sind, deren Kraft und Länge denen der Augenmuskeln glichst proportional gemacht worden sind, und an welchem der Augapfel von selbst den Versuchen von WUNDT über die Augenstellungen entsprechende Richtung an-

---

[1] *Ein neues Ophthalmotrop.* Leipzig 1857. — *Das Ophthalmotrop, dessen Bau und Gebrauch.* Göttingen 1845, dem ersten Bande der Göttinger Studien.

[2] W. WUNDT, *Archiv für Ophthalmologie*, VIII. 2. 88.

nimmt, wenn seine der Blicklinie entsprechende Axe in die verlangte Stellung ü geführt wird. WUNDT hat dies Modell namentlich zur Erläuterung seines Princips der geringsten Anstrengung benutzt, aus welchem er das Gesetz der Augenbewegun herleitete.

Historisches. Die ersten Untersuchungen über Bewegung der Augen bezogen sich die Lage des Drehpunkts. JOH. MÜLLER[1] meinte noch, dafs der Drehpunkt des Auges in der M seiner Hinterfläche liegen müfste, eine Meinung, die auch von TOURTUAL[2] und SZOKALSI vertheidigt wurde. VOLKMANN[4] suchte mittels seines Gesichtswinkelmessers den Kreuzu punkt der Richtungslinie zu ermitteln und den Drehpunkt, wie oben S. 111 schon auseinand gesetzt ist, zu bestimmen; er glaubte, dafs beide Punkte zusammenfielen; der Pu den er bestimmte, war in Wirklichkeit wohl der Drehpunkt, der nach ihm 5,6''' hi der Hornhaut liegen sollte. Der daran sich knüpfende Streit mit MILE, KNOCHENHAU STAMM und BUROW ist ebenfalls schon oben erwähnt. Der Letztere machte genau Bestimmungen des Drehpunktes.[5] Für den Abstand dieses Punktes von der Hornh fand er im Mittel von 40 Beobachtungen 5,42''' mit einer gröfsten Abweichung von 0, VALENTIN[6] wiederholte diese Versuche, sowohl für horizontale, als für verticale Bewegung und fand im ersten Fall im Mittel 5,501''', im letzteren 5,08'''. Sehr viel später folg die oben erwähnten Untersuchungen von JUNGE (in russischer Sprache veröffentlicht) von DONDERS und D. DOIJER.[7]

Auch die Untersuchungen über die Raddrehung hat JOH. MÜLLER begonn Er sagt, dafs er mittels verschiedener Punkte auf dem Augapfel, die er mit Tinte dem Weifsen desselben bezeichnet hatte, habe erkennen können, dafs das Auge währ seiner Bewegungen nicht um seine Längsaxe gedreht werde. Diese Meinung blieb herrschende unter den Physiologen, bis eine Arbeit von HUECK[9] den Anstofs zu vi Untersuchungen gab. HUECK versuchte eine schon von HUNTER geäufserte Meinung vertheidigen, nämlich dafs bei der Neigung des Kopfes nach der Schulter eine entge gesetzte Drehung des Auges um die Gesichtsaxe stattfinden sollte. Diese Drehung schr er den schrägen Augenmuskeln zu. Er meinte sich von der Richtigkeit seiner Behaupt überzeugt zu haben, indem er sowohl bei sich selbst, wie bei anderen, die Verschiebun der Conjunctival-Gefäfse bei Bewegungen des Kopfes beobachtete.

Die von HUECK aufgestellten Behauptungen wurden von den meisten Physiolo als richtig angenommen. Obgleich TOURTUAL[10] mit Recht bemerkte, dafs die Axendreh für die Functionen des Gesichts durchaus nicht nothwendig sei, und obgleich RITTER und RUETE Widerspruch gegen die Thatsache erhoben, so wurde die Meinung von HU doch von TOURTUAL, BUROW,[11] VALENTIN,[12] KRAUSE[13] und VOLKMANN[14] vertheid TOURTUAL selbst überzeugte sich schon, indem er die Stellung des blinden Flecks un
528 suchte, dafs die scheinbare Drehung des Auges im Kopfe wenigstens nicht zureiche, die Orientirung der Meridiane des Auges ganz unverändert zu lassen. RUETE[15] bev mittels der Nachbilder, dafs eine Drehung des Auges bei Neigungen des Kopfes (unveränderter Stellung des Auges im Kopfe) überhaupt nicht eintrete. DONDER

---

[1] J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig 1826. S. 254.
[2] TOURTUAL, *Müller's Archiv* 1840. S. XXIX.
[3] SZOKALSKY, C. R. 1843.
[4] VOLKMANN, *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* 1836. S. 33.
[5] BUROW, *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* 1842.
[6] VALENTIN, *Lehrbuch der Physiologie des Menschen,* Bd. II, 1844.
[7] *Archiv für die Holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde.* 1863, III. 560.
[8] JOH. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* 1826, S. 254.
[9] HUEK, *Die Achsendrehung des Auges.* 1838.
[10] TOURTUAL, *Müller's Archiv* 1840, S. LV und LIV; 1846, S. 346.
[11] BUROW, *Beiträge zur Physiologie des Auges.* S. 8.
[12] VALENTIN, *Repertorium* 1842. S. 407. *Lehrbuch der Physiologie* II, 332.
[13] KRAUSE, *Handbuch der Anatomie.* 1843, S. 550.
[14] VOLKMANN, Artikel Sehen in *Wagner's Handwörterbuch.* S. 273.
[15] RUETE, *Lehrbuch der Ophthalmologie,* S. 14. *Das Ophthalmotrop* 1846, S. 9.
[16] DONDERS, *Nederlandsch Lancet.* 1846 August. *Holländische Beiträge zu den anat. und physiol. Wi schaften.* 1848. I, 105—145; 384—386.

utzte diesen Gedanken von RUETE zu einer eingehenderen Prüfung des Gegenstandes. wies zunächst nach, wodurch HUECK bei seinen Beobachtungen getäuscht worden war; er nämlich nicht hinreichend darauf geachtet hatte, die Stellung des Auges im Kopfe erändert zu erhalten, während er die Stellung des Kopfes selbst änderte, und dafs die ihm beobachteten Drehungen von dem ersteren, nicht vom letzteren Umstande ingen. Er fand ferner, dafs die Nachbilder verticaler Objecte bei rein horizontalen rein verticalen Bewegungen der Augen parallel bleiben, aber bei schräg seitlich chteten Hebungen und Senkungen sich schräg stellen. Ein bestimmtes Gesetz für Gröfse dieser Schiefstellung hat er nicht aufgestellt.

Ein solches Gesetz war indessen von LISTING [1] aufgestellt worden, und zwar das ge, welches für die meisten normalsichtigen Augen in der That sehr genau zuzutreffen eint. Er hat aber keinen Beweis dafür gegeben und es nicht einmal selbst ver-ntlicht. MEISSNER [2] unterwarf dieses Gesetz zuerst einer empirischen Prüfung mittels Methode der Doppelbilder und fand es im Wesentlichen durch seine Versuche be-igt; er suchte die Bedeutung des LISTING'schen Gesetzes daraus herzuleiten, dafs selbe den gröfsten Horopter gebe, ein Punkt, der weiter unten zu besprechen ist.

Nach einer anderen Erklärung des Raddrehungsgesetzes suchten FICK [3] und NDT [4], die auf das LISTING'sche Gesetz weiter keine Rücksicht genommen haben, und denen der erstere mittels des blinden Flecks, der letztere durch Nachbilder die llungen seines Auges bestimmte. Sie waren der Ansicht, dafs der Augapfel denjenigen d der Raddrehung annehme, der es erlaube, die verlangte Richtung der Gesichtslinie der kleinsten Muskelanstrengung herzustellen. Dieser Satz ist höchst wahrscheinlich tig, obgleich unsere Kenntnifs der Bedingungen, von denen die Muskelanstrengung ängt, noch nicht genügt, die Berechnung auf sicheren Grundlagen durchzuführen. NDT hat auch eine Art Ophthalmotrop, ein Modell des um einen Punkt drehbaren ges hergestellt, an welchem die Augenmuskeln durch Messingfedern von entsprechender ge und Stärke ersetzt waren, und an dem die Drehungen des Augapfels für die ver-edenen Lagen der Gesichtslinie den Beobachtungen von WUNDT an seinen eigenen en ziemlich gut entsprechend eintreten.

In Anbetracht des Umstandes aber, dafs die Stärke der Muskeln selbst während des viduellen Lebens den von ihnen verlangten Leistungen sich anpafst, schien mir dies ncip, selbst wenn es sich als factisch richtig bewähren sollte, nicht den eigentlichen ten Grund des Gesetzes enthalten zu können. Ich fand bei der Prüfung des TING'schen Gesetzes mit Hülfe von Nachbildern dieses für meine eigenen Augen und die einiger anderer normalsichtiger Beobachter mit grofser Genauigkeit zutreffend; selbe bestätigte die Prüfung mit Doppelbildern für mein eigenes Auge. Ich suchte Methode namentlich so zu verändern, dafs die Stellung des Kopfes besser gesichert , und dafs Ermüdung der Muskeln durch Winkelmessungen in seitlichen Stellungen Auges vermieden wurde, und suchte den Grund des Gesetzes in dem oben gegebenen ncipe der leichtesten Orientirung.[5] Einwände gegen die Methode der Beobachtung gegen die Begründung des Gesetzes, welche E. HERING [6] aufstellte, habe ich oben zu itigen gesucht.

§. 28. Das monoculare Gesichtsfeld. 529

Bei dem gewöhnlichen Gebrauche unserer Augen sehen wir mit ihnen den zugleich, indem wir sowohl sie selbst im Kopfe hin- und herbewegen,

---

[1] RUETE, *Lehrbuch der Ophthalmologie: Ein neues Ophthalmotrop.* 1857.
[2] G. MEISSNER, *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans* 1851. *Archiv für Ophthalmologie* II. 1855.
[3] A. FICK, *Moleschott Untersuchungen,* Bd. V, S. 193. 1858; *Zeitschrift für rationelle Medizin* 1854, S. 801.
[4] W. WUNDT, *Graefe's Archiv für Ophthalmologie.* VIII, 1862, S. 1—114.
[5] H. HELMHOLTZ, *Archiv für Ophthalmologie,* IX, 153—214.
[6] H. HERING, *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig 1864. S. 248—286.

als auch von Zeit zu Zeit unsern Kopf und unsern ganzen Körper im Ra seinen Ort wechseln lassen. Dabei pflegen wir die Augen in der W herumschweifen zu lassen, dafs beide bald diesen, bald jenen Punkt der uns liegenden Objecte *fixiren*, das heifst, beide sich so wenden, um Bild des fixirten Punktes gleichzeitig auf den Centren der Netzhäute empfangen. Indem wir die Augen so gebrauchen, sind wir im Stande, ri tige Wahrnehmungen des Ortes derjenigen gesehenen Gegenstände zu winnen, von denen das Licht ungestört in seinem geradlinigen Wege unserem Auge gelangt.

In der That läfst sich nach den in § 10 erörterten Gesetzen Lichtbrechung im Auge einsehen, dafs wenn bekannt ist die Stellung Körpers und des Kopfes, ferner die Stellung beider Augen im Kopfe,
530 somit auch die Lage ihrer Knotenpunkte, endlich die Orte der bei Netzhäute, welche von den Bildern desselben leuchtenden Punktes getrof werden, dafs dann auch eindeutig bestimmt werden kann der Ort, wo leuchtende Punkt sich wirklich befindet. Denn man ziehe von dem Ne hautbilde jedes Auges eine gerade Linie durch den Knotenpunkt, und v längere sie. Beide Richtungslinien werden sich nur in einem Pun schneiden können, und nur in diesem Punkte wird sich das leuchtende (ject befinden können.

Von der Genauigkeit der einzelnen oben geforderten Bestimmung wird es übrigens abhängen, mit welcher Genauigkeit der Ort des gesehen Objects im Raume wirklich bestimmt wird.

Wenn also gegeben sind:

1) Empfindungen, welche genügen, um eine richtige Kenntnifs zu g winnen von der Stellung unseres Körpers und Kopfes gegen ein belieb für die Abmessungen gewählte Grundlage, zum Beispiel den Fufsbod auf dem wir stehen,
2) Empfindungen, welche zu einem richtigen Urtheil über die Stellu unserer Augen im Kopfe genügen,
3) Momente in der Empfindung (sogenannte *Localzeichen*), dur welche wir die Reizung der von dem Lichte des Objectpunktes A g reizten beiden Netzhautstellen von der Reizung aller anderen Ne hautstellen unterscheiden können (von welcher Art diese letzter sind, darüber wissen wir gar nichts; dafs dergleichen da sein müss schliefsen wir eben nur aus dem Umstande, dafs wir Lichteindrüc auf verschiedenen Theilen der Netzhäute zu unterscheiden vermöge

so ist hinreichendes Material gegeben, um den Ort des Punktes A im Raum unzweideutig daraus bestimmen zu können. Befände sich der Punkt A irgend einem andern Orte des Raums, so würde er ein anderes Aggreg von Empfindungen erregen müssen. Die Erfahrung lehrt nun, dafs wir i Allgemeinen auch wirklich durch das Gesicht die Orte der gesehenen Objec punkte richtig bestimmen können. Die Genauigkeit dieser Bestimmu ist freilich eine wechselnde und hängt namentlich davon ab, wie nahe

len Augen die Bilder des Punktes A dem Centrum der Netzhautgrube en.

Wir werden nun also zu untersuchen haben, wieviel die genannten mente der Empfindung einzeln genommen zu der genauen Wahrnehmung Ortes der Objecte beitragen. Wir werden dabei nicht weiter unter-hen, von welchen Empfindungen die Beurtheilung der Stellung des Körpers Fufsboden und des Kopfes zum Körper abhängig ist; die Untersuchung über gehört in die Physiologie der Sinneswahrnehmungen überhaupt, nicht lie des Gesichtssinnes. Wir nehmen also an, dafs die Stellung des ofes gegen die zu Grunde gelegte Basis der räumlichen Abmessungen jedem Falle genau bekannt sei. Dann bleibt also zu untersuchen, wie-zur Erkenntnifs des Ortes der Objecte beitragen

1) Bewegungen des Kopfes
2) Bewegungen der Augen im Kopfe
3) Sehen mit einem Auge
4) Sehen mit beiden Augen.

Wir beginnen unsere Untersuchung damit, dafs wir feststellen, was beim 531
rauche nur eines Auges und beim Ausschlufs aller Bewegungen des ofes erkannt werden könne. Die Bewegungen des betreffenden Auges im ofe dagegen werden in dem vorliegenden Abschnitte im Allgemeinen it ausgeschlossen.

Zunächst ist klar, dafs wenn gegeben ist Ort und Stellung eines Auges, der Ort des Netzhautbildes eines leuchtenden Punktes, für den das e accommodirt ist, so können wir von seinem Netzhautbilde eine gerade e durch den Knotenpunkt des Auges ziehen, und wissen zunächst, dafs leuchtende Punkt vor dem Auge in dieser Linie liegen müsse. In hem Punkte dieser Linie er aber liege, bleibt nothwendig unbekannt, n wir keine anderen Hilfsmittel zur Entscheidung darüber haben. Zwar nte man an die Accommodation des Auges denken. Wäre das Auge lichst gut für den Punkt accommodirt, so würde möglicher Weise der d der Accommodationsanstrengung, oder die Gröfse des vorhandenen Zer-uungskreises Aufschlufs über die Entfernung geben können. Wir werden er unten in § 30 untersuchen, welche Hilfsmittel beim monocularen Sehen für Beurtheilung der Entfernung noch vorhanden sind, und dabei sehen, die Accommodation in der That ein aufserordentlich unvollkommenes smittel für die Beurtheilung der Entfernung ist. Wenn wir also von kleinen Unterschieden in der Schärfe des Bildes absehen, welche durch hselnde Accommodation hervorgebracht werden können, so ist kein eres Moment in der Empfindung vorhanden, welches darüber Aufschlufs , in welcher Entfernung der leuchtende Punkt liegt.

Oben wurde vorausgesetzt, das Auge sei genau accommodirt für den htenden Punkt. Dann können wir, um seine Richtung zu finden, von em Netzhautbilde, wie oben vorgeschrieben ist, die gerade Richtungs- durch die Knotenpunkte ziehen, oder aber auch jedem anderen Strahle

folgen, der von irgend einem Punkte der Pupille nach dem Netzhautbild hinläuft. Wenn wir die Brechung eines solchen Strahls nach den in § 1 gegebenen Regeln richtig construiren, um seinen Weg vor dem Auge z finden, wird uns jeder solcher Strahl schliefslich zu dem leuchtende Punkte zurückführen, von dem er ausgegangen ist. In diesem Falle bleib es also gleichgiltig, welchen von den in die Pupille gefallenen Strahle wir wählen, um die Richtung zu bestimmen, in welcher der leuchtend Punkt liegt.

Dies ist aber nicht mehr gleichgiltig, wenn wir auf der Netzhaut Bilde von leuchtenden Punkten haben, für welche das Auge nicht ganz gena accommodirt ist. In solchen Fällen dürfen wir den Mittelpunkt des Zer streuungskreises als den Ort des Netzhautbildes betrachten [1]. Der Stral aber, welcher von dem leuchtenden Punkte nach der Mitte des eventuelle Zerstreuungskreises hingeht, geht, wie schon oben S. 115 bemerkt, durc den Mittelpunkt der Pupille und ist mit dem Namen einer Visirlini
532 belegt worden. Wenn sich der leuchtende Punkt längs dieser Visirlinie hi und her bewegen würde, so würde sich in der Empfindung nichts veränder als dafs das Zerstreuungsbild desselben kleine Vergröfserungen und Ve kleinerungen erlitte, welche selbst bei sehr bedeutendem Wechsel der En fernung unmerklich klein sein könnten.

Es läfst sich ferner zeigen, dafs auch durch eintretende Accommodatio des Auges für die Nähe der Mittelpunkt der Zerstreuungskreise auf de Netzhaut seinen Ort nicht merklich verändert. Die darauf bezügliche Rech nung wird am Ende dieses Paragraphen gegeben werden.

Um nun zur Anschauung zu bringen, was wir mit einem Auge ohn Hilfe von Bewegungen des Kopfes und ohne Berücksichtigung der Accommo dationsunterschiede von der Aufsenwelt erkennen können, dazu sind namen lich sehr weit entfernte Gegenstände als Gesichtsobjecte die passendste Beispiele. Denn bei sehr weit entfernten Objecten bringen mäfsige Be wegungen unseres Kopfes keine andere Veränderung des Bildes hervo als wir auch durch Drehungen des Auges allein hervorbringen können. Ja beim Anblick unendlich entfernter Objecte ist es sogar gleichgültig, ob wi das zweite Auge ebenfalls öffnen, oder nicht. Denn der Gebrauch de zweiten Auges giebt uns nur dann ein neues verwerthbares Moment de Empfindung, wenn die in ihm gezogene Visirlinie die des ersten Auge irgendwo in einer mefsbaren Entfernung schneidet. Wenn beide Linie merklich parallel sind und neben einander in unabsehbare Entfernung hinaus laufen, so giebt uns das keinen Aufschlufs über die wirkliche Entfernun des leuchtenden Objectes, aufser dem negativen, dafs es jenseits einer ge wissen Grenze der Entfernung liegen mufs.

Betrachten wir weit entfernte irdische Gegenstände, so kann uns di früher gewonnene Bekanntschaft mit ihrer wirklichen Form und Entfernung

---

[1] Es ist hier nur von leuchtenden Punkten die Rede; dafs es sich an den Rändern leuchtende Flächen anders verhält, ist bei der Lehre von der Irradiation in § 21 auseinandergesetzt.

be u. s. w. noch mancherlei Hilfe in der Deutung unseres Gesichtsfeldes geuren. Wollen wir uns von allen diesen Hilfsmitteln früherer Erinnerung frei hen, so bietet sich uns ein Object dar, was für diese Untersuchung in ausuchter Weise pafst, nämlich der gestirnte Himmel. An dem finden wir ecte, von deren Form, Gröfse und Entfernung uns durchaus keine frühere schauung unterrichtet hat, für deren Wahrnehmung der Gebrauch beider gen und die etwa von uns ausgeführten Bewegungen durchaus nicht tere sinnliche Momente gewähren, als ein einzelnes Auge gewähren kann, sen Ort im Raume unverändert bleibt.

Unter diesen Umständen erscheinen uns die Objecte, welche in der it im Raume nach drei Dimensionen vertheilt sind, nur noch nach zwei nensionen ausgebreitet. Wir sind nur noch im Stande, die Richtung der irlinie zu erkennen, die zu jedem einzelnen gesehenen Punkte hinführt. e solche Richtung braucht zu ihrer Festsetzung nicht mehr drei Bestimngsstücke, wie ein Punkt, sondern nur zwei; wie denn auch die Sterne ihrer Lage bestimmt werden durch je zwei Winkel, entweder ihre Länge Breite im Verhältnifs zum Pol und Aequator, oder ihre Rectascension Declination im Verhältnifs zur Ekliptik.

Eine Raumgröfse von zwei Dimensionen ist eine Fläche; in einer solchen die Lage der Punkte festgestellt durch je zwei Bestimmungsstücke. Wenn also beim Sehen mit einem Auge, dessen Drehpunkt seinen Ort im Raum 533
nt wechselt, die eine Dimension, die Entfernung, nicht zu unterscheiden mögen, so können wir die Objecte nicht mehr im Raume, sondern nur h wie an einer Fläche vertheilt sehen. Diese scheinbare flächenartige ordnung der gesehenen Objecte nennen wir das Gesichtsfeld. So en wir zum Beispiel die Sterne an der imaginären Fläche des Himmelsölbes vertheilt.

Ich bitte den Leser darauf zu achten, dafs ich nicht gesagt habe, die genstände erschienen uns an oder auf einer Fläche vertheilt, sondern wie an einer Fläche, in flächenartiger Anordnung, in einer nach zwei nensionen unterschiedenen Anordnung. In der That stellen wir uns nicht hwendig eine bestimmte Fläche in bestimmter Entfernung vor, an der die rne oder die fernen Berge des Horizonts angeheftet wären, wenn auch eherne Himmelsgewölbe und die krystallinischen Sphären der alten Zeit natürliche Ausdruck für eine kindlichere Art der Anschauung sind, in man Alles recht greifbar zu machen suchte. Es ist dadurch manche wierigkeit in die physiologische Optik gekommen, dafs man glaubte, in em Falle eine bestimmte Fläche, meist eine Kugelfläche, als das zeitlige Gesichtsfeld jedes Auges annehmen zu müssen. Man kann sich e Function von zwei Variablen auf einer Fläche darstellen. So haben in § 20 die Farben gleicher Helligkeit nach gewissen Regeln auf Farbenscheibe dargestellt. Die beiden Variablen, nach denen die Farbe unterscheidet, sind hierbei der Farbenton und der Sättigungsgrad vesen. Gehen wir durch eine continuirliche Reihe von Farbentönen von

einer Anfangsfarbe aus und zu derselben wieder zurück (das heifst, ziehe wir eine geschlossene Linie in der Farbenscheibe), so zerfällt dadurch di Gesammtheit der Farben in zwei vollständig getrennte Gruppen (die aufser halb und innerhalb jener Linie dargestellt sind), und wir können nicht vo einer Farbe der einen Gruppe continuirlich zu einer der andern Grupp übergehen, ohne durch eine der zuerst berührten Farben (die in der ge schlossenen Linie liegen) hindurchzugehen. Dies letztere ist nun auch di Charakteristik einer einfach zusammenhängenden Fläche; jede geschlossen Linie, die wir in ihr ziehen, theilt sie in zwei Theile, und wir können nich von einem Punkte des einen Theils zu einem des andern in der Fläch übergehen, ohne durch jene geschlossene Linie durchzugehen. Eben wege dieser Analogie machen wir uns das System der Farben anschaulich, inder wir sie auf einer Fläche ausgebreitet darstellen, und mehr will es zunäch auch nicht sagen, wenn wir die Objecte auf die imaginäre Fläche de Gesichtsfeldes, deren Ort im Raume übrigens ganz unbestimmt bleib entwerfen.

Uebrigens ist auch leicht einzusehen, dafs diese Anschauung eine flächenhaften Vertheilung der Gegenstände im Gesichtsfelde auch da erhalte bleiben mufs, wo wir gleichzeitig mit ihr vollständig genaue und richtig Anschauungen der wirklichen Vertheilung der Objecte im Raume durch unser Gesichtssinn haben. Denn immer wird die Eigenthümlichkeit in der An schauung stehen bleiben, dafs, wenn ich mit dem Blicke eine geschlossen Linie im Gesichtsfelde durchlaufen habe, ich von einem innern zu eine äufseren Punkte den Blick nicht überführen kann, ohne jene geschlossen
534 Linie zu durchschneiden. Wenn ich den Umfang eines Fensters mit de Blick umschrieben habe, kann ich von einem Objecte, welches ich aufserhal des Fensters sehe, nicht zu einem Objecte an den Wänden des Zimme übergehen, ohne mit dem Blicke über den Rand des Fensters zu streife und dadurch ist das wesentliche Kennzeichen einer flächenartigen Anordnu der gesehenen Objecte gegeben, obgleich wir andererseits sehr wohl wisse dafs im wirklichen Raume unendlich viele Linien von jenem äufseren Punkt zu dem an der Zimmerwand gezogen werden können, welche die Umgrenzung linie des Fensters durchaus nicht schneiden.

Eben weil wir in dieser Weise mit dem Blicke über die Gesichtsobject hinstreifend dieselben in einer flächenhaften Anordnung finden, ist es nu auch möglich, ihren Anblick durch flächenhafte Zeichnungen und Gemäld dem Auge zurückzurufen. Der Zeichner, welcher eine Landschaft abbilde will, bemüht sich nicht zu ermitteln, wie weit jeder Punkt der Landscha von seinem Auge oder von einem anderen Punkte der Landschaft wirklic entfernt ist, sondern nur, ob er von dem ersten aus den Blick nach obe oder unten, nach rechts oder links wenden mufs, und welche Excursion se Auge etwa machen mufs, um zu dem zweiten hinzugelangen. Das flächen hafte Bild wird von uns als ähnlich dem körperlichen Objecte anerkann wenn wir dieselben Bewegungen unseres Auges ausführen müssen, um v

nem zum andern Punkte des Bildes zu gelangen, welche nöthig wären, um entsprechenden Punkte des Objects nach einander zu erblicken.

Es ist weiter ersichtlich, dafs wir auf diesem einfachen Wege auch die *nordnungsweise* der Punkte in der scheinbaren Fläche des Gesichtsdes kennen lernen können, zunächst abgesehen von allen Gröfsenstimmungen.

Was darunter zu verstehen ist, wird am leichtesten ersichtlich, wenn n sich ein flächenhaftes Bild auf eine dehnbare Kautschukplatte auftragen denkt. Diese kann man nachher beliebig ausrecken, und alle ngenverhältnisse zwischen ihren einzelnen Theilen, so wie die Winkel ischen den einzelnen Linien der Gröfse nach beliebig ändern, doch wird tz aller Veränderungen jede geschlossene Linie, die durch dieselbe Reihe n Punkten des Bildes gezogen ist, immer denselben unveränderlichen Satz n anderen Bildpunkten in sich einschliefsen und die andere Hälfte aushliefsen, und in jeder continuirlichen linienförmigen Reihe von Punkten s Bildes wird die Reihenfolge der Punkte unverändert bleiben, so sehr ch die Gröfse und Form der einzelnen Theile einer solchen Linie sich rändert. Ebenso ist die Anordnungsweise der Punkte auf einer ebenen ographischen Karte und einem Erdglobus dieselbe, trotzdem dafs die röfsenverhältnisse auf der ebenen Karte nicht genau denen auf dem Globus tsprechen können, um so weniger, ein je gröfseres Stück der Erdoberfläche rgestellt ist.

Wenn wir zwei Flächen haben, und die Punkte der einen denen der deren in einer festgesetzten Weise entsprechen, so nenne ich die *Ordnung r Punkte* auf beiden Flächen, gleichartig, so oft allen solchen Reihen n Punkten der ersten Fläche, die in einer continuirlichen Linie liegen, lche Punkte der anderen entsprechen, die ebenfalls in einer continuirlichen nie liegen, und wenn die Reihenfolge der Punkte in der ersten Linie 535
eselbe ist, wie die Reihenfolge der entsprechenden Punkte in der veiten Linie.

Indem wir den Blick über das Gesichtsfeld schweifen lassen, finden wir mittelbar in der Wahrnehmung, in welcher Ordnung die Objectpunkte im esichtsfelde aufeinander folgen, so dafs zunächst wenigstens die *Ordnung r Punkte* im Gesichtsfelde durch solches Herumblicken unmittelbar bestimmt erden kann.

Wie und in wie weit die Gröfsenverhältnisse durch das Augenmaafs estimmt werden können, wollen wir nachher untersuchen. Hier ist zunächst ır noch zu bemerken, dafs wenigstens das Auge des Erwachsenen die rdnung der Punkte im Gesichtsfelde nicht nur an Objecten bestimmt, über elche der Blick schweifen kann, sondern dafs wir ein bestimmt flächenhaft eordnetes Bild auch von solchen Objecten und Erregungen haben, die in ezug auf unsere Netzhaut ihren Ort nicht wechseln und sich mit unserem uge bewegen. Dies gilt für die Nachbilder, die Netzhautgefäfse, die olarisationsbüschel und überhaupt für die meisten subjectiven Erscheinungen.

Wie wir auch das Auge bewegen mögen, immer wird derselbe Punkt eines solchen subjectiven Bildes dem Fixationspunkte entsprechen, und wir können nie verschiedene Theile des Bildes nach einander auf der Mitte unserer Netzhaut wechseln lassen. Daraus folgt, dafs wir im Stande sind, die Ordnung der gesehenen Punkte im Gesichtsfelde auch zu beurtheilen nach dem blofsen Eindruck, den das ruhende Netzhautbild auf die ruhende Netzhaut macht, ohne dafs wir nöthig haben, jedes einzelne Mal durch Bewegungen zu controlliren, welches die Reihenfolge der einzelnen Objectpunkte sei.

Um diese Thatsache zu erklären, kann die Annahme gemacht werden und ist von den Anhängern der nativistischen Theorie gemacht worden, dafs wir eine angeborene Kenntnifs der Ordnung der Netzhautpunkte auf unserer Netzhaut (und auch wohl der Gröfse ihrer Abstände) besitzen, welche uns unmittelbar in den Stand setzt, wahrzunehmen, welche Punkte des Netzhautbildes continuirlich aneinanderstofsen, welche nicht. Wenn eine solche Annahme gemacht wird, so ist damit natürlich jede weitere Erörterung über den Ursprung unserer flächenhaften Gesichtsbilder abgeschnitten.

Andererseits ist ersichtlich, dafs die Fähigkeit, auch ohne Bewegung des Auges die Ordnung der Objecte im Gesichtsfelde zu erkennen und zu beurtheilen, auch erworben sein kann, wie dies die empiristische Theorie der Gesichtswahrnehmungen annimmt. Denn jedes Mal, wo wir durch Bewegungen des Auges die Ordnung der Theile eines ruhenden Objects bestimmt haben, erhalten wir auch, so lange wir einen seiner Punkte ruhig fixiren, einen ruhenden Eindruck seiner verschiedenen Theile auf unsere Netzhaut, und können somit durch Erfahrung kennen lernen, wie zwei Punkte, die wir durch Bewegung des Auges als benachbart erkannt haben, sich im ruhenden Bilde des Auges darstellen, das heifst also, anatomisch gesprochen, wir können durch Erfahrung kennen lernen, welche Localzeichen der Gesichtsempfindungen benachbarten Netzhautfasern angehören, und wenn wir dies gelernt haben, werden wir im Stande sein, auch aus dem unveränderten
536 Eindruck eines relativ zum Auge ruhenden Objects die Anordnung der Punkte im Gesichtsfelde zu erkennen.

Wir werden also im Folgenden zu prüfen haben, ob ohne die Hypothese von der angeborenen Kenntnifs der Anordnung der Netzhautpunkte die Thatsachen sich erklären lassen aus den bekannten Fähigkeiten des Sinnengedächtnisses. Directe Versuche über diese Frage an neugeborenen Kindern lassen sich natürlich nicht anstellen, und die Erfahrungen an operirten Blindgeborenen ergeben hierüber so gut wie nichts, da diese operirten sogenannten Blinden fast immer Staarkranke waren, welche durch ihre getrübte Linse allerdings sehr wenig zu sehen, aber doch die Richtung des stärkeren Lichts noch zu erkennen im Stande waren, und also der Erfahrungen über die Localisation ihrer Netzhauteindrücke nicht ganz entbehrten. In dieser Beziehung würden Fälle von angeborener Verschliefsung der Pupille, die durch künstliche Pupillenbildung geheilt wurden, wo dergleichen vor-

ommen, viel wichtiger sein, als die Erfahrungen an operirten Staarkranken. inige merkwürdige Fälle dieser Art sind am Ende dieses Abschnitts wähnt.

Wir erkennen nun aber nicht blos die Ordnung der Objectpunkte im esichtsfelde in dem allgemeinen Sinne, wie es bisher besprochen ist, ndern wir erkennen auch bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit e Gröfsenverhältnisse der Linien und Winkel. Der Zeichner, welcher ch bemüht, den Eindruck der körperlichen Objecte durch ein flächenhaftes ild wiederzugeben, darf nicht blos darauf ausgehen, die Punkte des Objects der Reihenfolge auf seiner Zeichnung zu ordnen, wie unser Blick sie trifft, enn er über sie hinschweift; er mufs auch streben, gewisse Gröfsenrhältnisse einzuhalten zwischen den Abständen der einzelnen Punkte, damit ir die flache Zeichnung dem körperlichen Objecte ähnlich finden, und wenn ir eine Zeichnung auf einem Kautschukblatte ausführen und sie verhiedentlich ausrecken, so ändert sich ihr Anblick für unser Auge, trotzdem ie Anordnung der Punkte in der Fläche dieselbe bleibt.

Um nun die auf die Beurtheilung der Gröfsenverhältnisse bezüglichen hatsachen unzweideutig auseinandersetzen und ihrem Ursprunge nachforschen 1 können, müssen wir noch einige Festsetzungen über die Flächen, auf elche wir uns die Bilder des Gesichtsfeldes projicirt denken wollen, orausschicken.

Man braucht den Namen des Gesichtsfeldes in der Regel für die Erheinung der vor uns liegenden Gesichtsobjecte, so lange man nicht auf re Entfernung von uns, sondern nur auf ihre scheinbare flächenhafte Anrdnung neben einander achtet, ohne dabei bestimmt festzusetzen, ob die bjecte mit festgehaltenem oder mit schweifendem Blicke, oder vielleicht elbst mit Hülfe von Bewegungen unseres Kopfes und Körpers betrachtet erden sollen. In der nun folgenden Analyse unserer Wahrnehmungen wird s aber nöthig, diese verschiedenen Fälle von einander deutlich zu trennen. er unbestimmte Name des Gesichtsfeldes mag beibehalten werden, wo s auf eine solche Unterscheidung des bewegten oder unbewegten Auges icht ankommt, oder wo zusammengegriffen werden soll, was sowohl das ewegte, wie das unbewegte Auge wahrnimmt, wie wir denn auch mit dem Vorte Gesicht den ganzen Sinn in allen seinen Anwendungen verstehen. 537
agegen habe ich schon im vorigen Paragraphen mit Blickfeld dasjenige eld bezeichnet, über welches der Blick des bewegten Auges hinlaufen kann. em entsprechend betrachte ich das Blickfeld als eine Fläche, die fest mit em Kopfe verbunden ist, mit diesem sich bewegt, und in welchem ein Punkt, er Blickpunkt oder Fixationspunkt von einem, beziehlich beiden ugen so betrachtet wird, dafs er sich auf dem Centrum der Netzhautgrube bbildet. Die Richtungen oben und unten, rechts und links werden im lickfelde nach den entsprechenden Richtungen des Kopfes genommen. Ein unkt des Blickfeldes ist ausgezeichnet dadurch, dafs er der Fixationspunkt es entsprechenden Auges in seiner Primärstellung ist; wir wollen ihn den

Hauptblickpunkt (primären Fixationspunkt) nennen. Den gerade gegenüber liegenden, hinter dem Kopfe des Beobachters gelegenen Punkt, welcher das andere Ende des nach dem Hauptblickpunkt gerichteten Durchmessers des Blickfeldes bildet, nennen wir, wie oben, den Occipitalpunkt. Im Kopfe bestimmt für unsere Zwecke die Verbindungslinie der Drehpunkte beider Augäpfel die horizontale Richtung von rechts nach links. Legen wir durch die genannte Verbindungslinie und den Hauptblickpunkt eine Ebene, so ist diese die horizontale Meridianebene des Blickfeldes, oder die Primärlage der Blickebene. Die übrigen Meridianebenen des Blickfeldes werden durch die Verbindungslinie des Hauptblickpunkts und des Drehpunkts des betreffenden Auges gelegt. Die Schnittlinien der Meridianebenen mit der imaginären Fläche des Blickfeldes sind die Meridiane dieses Feldes. Wenn beide Augen gebraucht werden, kann von Meridianebenen nicht gesprochen werden, aufser von der horizontalen, wohl aber von Meridianlinien, weil das Blickfeld so unendlich weit entfernt gedacht werden kann, dafs die Richtung der Ebenen, welche durch einen Punkt des Blickfeldes und die Gesichtslinie des einen oder andern Auges gelegt sind, nicht merklich verschieden ist.

Ruhende äufsere Objecte wechseln also ihren Platz im Blickfelde, wenn sich der Kopf bewegt; dieselbe Stelle des Blickfeldes wird nacheinander auf verschiedenen Stellen der Netzhaut abgebildet, wenn sich das Auge bewegt. Dagegen verlangt Fixation derselben Stelle des Blickfeldes unausbleiblich immer dieselbe Stellung des Auges im Kopfe, und dieselben Verkürzungen, beziehlich Verlängerungen der einzelnen Augenmuskeln, so dafs, wie wir vermuthen dürfen, jede Stelle des Blickfeldes mehr oder weniger genau bezeichnet ist durch die besonderen Innervationsgefühle und sonstige etwa vorhandenen Empfindungen der Nachbartheile des Auges, welche zu der betreffenden Stellung des Auges im Kopfe gehören.

Wir können das Blickfeld zum Zwecke seiner geometrischen Ausmessung als eine Kugelfläche von unendlich grofsem Radius betrachten, ähnlich dem Himmelsgewölbe, deren Mittelpunkt im Drehpunkte des Auges gelegen ist. Der Ort eines gesehenen Punktes im Blickfelde wird gefunden, wenn man durch ihn und den Drehpunkt des Auges eine gerade Linie legt und diese bis zur imaginären Fläche des Blickfeldes verlängert denkt. Wo sie die Fläche des Blickfeldes schneidet, ist der geometrische Ort des gesehenen Punktes im Blickfelde, den wir in vielen Fällen zu unterscheiden haben
538 werden von dem scheinbaren Ort im Blickfelde, an welchen wir das gesehene Object nach der Schätzung vermittels des Augenmafses verlegen.

Vom Blickfelde, das sich auf den bewegten Blick bezieht, unterscheiden wir das Sehfeld des Auges, welches wir uns mit dem Auge zugleich beweglich denken, so dafs jeder Punkt des Sehfeldes immer auf demselben bestimmten Punkte der Netzhaut abgebildet wird. Dafs durch veränderte Accommodation des Auges letzterer Punkt nicht wesentlich geändert werden kann, wird am Schlufs dieses Paragraphen gezeigt werden. Das Sehfeld ist

gleichsam die nach aufsen projicirte Netzhaut mit ihren Bildern und en sonstigen Eigenthümlichkeiten. Nachbilder, der Gefäfsbaum, der blinde ck, der gelbe Fleck projiciren sich also immer in die gleichen Orte des feldes. Jeder Punkt des Sehfeldes ist deshalb bezeichnet in der pfindung durch diejenigen Localzeichen derselben, welche den Empfindungen entsprechenden Netzhautstelle angehören, und es ist schon früher vorgehoben worden, dafs wir die locale Bestimmtheit der Empfindung end einer Sehnervenfaser sowohl in unseren eigenen Vorstellungen, als h in der Mittheilung für andere gar nicht anders bezeichnen und aus-echen können, als indem wir die Stelle des Sehfeldes bezeichnen, der sie gehört.

Das Sehfeld selbst kann aber mit dem Blickpunkte seine Lage gegen Blickfeld ändern. Um bestimmte Richtungen im Sehfeld festzusetzen, en wir von der Primärlage des Augapfels aus. In dieser Lage schneidet horizontale Meridianebene des Blickfeldes das Sehfeld in einer Linie, ich den horizontalen Meridian des Sehfeldes oder kürzer den tzhauthorizont nennen werde. Die Meridianebenen des Sehfeldes sind ch die Hauptvisirlinie zu legen, das heifst, durch die Visirlinie, welche h dem Blickpunkte hinläuft, und die wir wohl als mit der Blicklinie, heifst dem Strahl, der vom Blickpunkt nach dem Drehpunkt des Auges ft, zusammenfallend denken können, da auch der Mittelpunkt der Pupille he S. 29) wie die Gesichtslinie etwas nach der Nasenseite des Auges weicht. Der Ort eines jeden gesehenen Objects im Sehfelde wird bestimmt rch die Visirlinie, welche durch den betreffenden Objectpunkt gezogen und zur Fläche des Sehfeldes verlängert ist.

Für die wissenschaftliche geometrische Ausmessung des Sehfeldes ist es vortheilhaftesten, auch dieses als eine mit dem Blickfelde concentrische gelschale zu betrachten. Dafs die scheinbare Lage der Punkte im hfelde der geometrischen Construction nicht entspricht, werden wir nachher ilich erfahren. Wir müssen demnach auch im Sehfelde einen geo-etrischen und einen scheinbaren Ort der Punkte unterscheiden, welcher ztere nach dem Augenmafse bestimmt wird.

Wenn sich das Auge bewegt, verschiebt sich die Kugelfläche des Seh-des gegen die des Blickfeldes. Gegeben ist die Lage des Sehfeldes mittels r im vorigen Paragraphen entwickelten Gesetze der Augenbewegungen, bald die Lage des Blickpunktes, der im Sehfelde eine unveränderliche ellung hat, im Blickfelde gegeben ist. Denkt man sich die Primärstellung s Blickpunkts und die zeitige Lage desselben durch einen gröfsten Kreis rbunden, so mufs, so weit die Augenbewegungen nach LISTING's esetze erfolgen, der horizontale Meridian des Blickfeldes und 539
er Netzhauthorizont des Sehfeldes mit diesem Verbindungs-reise gleiche Winkel machen.

Indem sich das Sehfeld gegen das Blickfeld verschiebt, bleibt der geo-etrische Ort für die Projectionen der einzelnen Objectpunkte in der

gemeinsamen Kugelfläche des Blickfeldes und Sehfeldes nicht ganz unverändert. Um den Ort im Sehfelde zu finden, müssen gerade Linien vor Kreuzungspunkte der Visirlinien nach den Objectpunkten gezogen werden. Da nun der Kreuzungspunkt der Visirlinien etwa 3 Millimeter hinter de Hornhaut und 12,9 Millimeter vor dem Drehpunkte liegt, so verändert e seine Lage bei Drehungen des Auges, und dadurch wird die Richtung de Visirlinien ein wenig geändert. Indessen ist diese Aenderung verhältnifsmäfsig sehr unbedeutend für Objectpunkte, die dem Auge nicht ziemlich na sind. Die Rechnung ergiebt, dafs die scheinbaren Verschiebungen de Objecte bei Bewegungen des Auges, welche 10 Grade nicht übersteiger kleiner sind als die Ungenauigkeit der Bilder in dem für unendliche Fern accommodirten Auge, und also der Regel nach unter der Ungenauigkeit de Accommodation verschwinden werden. Nur bei sehr nahen Objecten un bei ausgedehnten Bewegungen des Auges werden solche Verschiebunge merklich. Wenn man zum Beispiel nahe vor das Auge einen Bleistift hält dessen Dicke der Breite der Pupille etwa gleich kommt, und sich dadurc eine Lichtflamme vollständig verdeckt, so kann man die Lichtflamme i indirekten Sehen wahrnehmen, wenn man das Auge stark nach der Seit wendet. Dann verschiebt sich das Zerstreuungsbild des nahen Bleistiftes s stark bei der seitlichen Bewegung des Auges, dafs es nun die Lichtflamm nicht mehr verdeckt. Diese Methode ist mitunter vortheilhaft anzuwenden wenn man ermitteln will, was man im indirekten Sehen erkennen kann, we man hierbei das Object direct zu sehen gar nicht im Stande ist.

Sobald also nur ferne Objecte im Gesichtsfelde sind, die alle zugleic von dem für die Ferne accommodirten Auge ohne merkliche Undeutlichkei gesehen werden können, so sind die Verschiebungen ihrer Projectionen i das Blickfeld verschwindend klein, und man kann den geometrischen Ort de betreffenden Objecte im Blickfelde als unabhängig von den Bewegungen de Auges betrachten.

Unter der angegebenen Einschränkung ist das Blickfeld die äufser Projection eines unveränderlichen Netzhautbildes, das Sehfeld das der Netzhaut selbst. Das Blickfeld und Sehfeld verschieben sich bei den Bewegunge des Auges gegen einander, wie das Netzhautbild der äufseren Objecte un die Netzhaut selbst. Ich ziehe es vor, in der folgenden Darstellung di beiden aufser unserem Auge liegenden Flächen an die Stelle der Netzhau und des Netzhautbildes treten zu lassen, weil jene ein richtigerer Ausdruc unseres thatsächlichen Bewufstseins sind, und weil bei der directen Eintragun aller Orte in die beiden Kugelfelder die Zweideutigkeit des Ausdrucks vermieden wird, die bisher so oft in die Irre geführt hat, als wüfsten wir etwa von unserer Netzhaut, deren Gröfse und Ausdehnung, wenn gesagt wird, daf wir die Lage der Objecte vor uns beurtheilen nach der Stelle der Netzhaut welche getroffen wird. Es ist übrigens ganz gleichgiltig für alle Constructionen

540 die an den Kugelflächen gemacht werden, wie grofs wir ihren Radius nehmen nur müssen wir bei endlichem Radius die Visirlinien ersetzen durch Linien

ihnen parallel durch den Drehpunkt des Auges gehen. So können wir Radius der Kugelflächen auch negativ nehmen, das heifst die Kugelflächen er den Drehpunkt legen, wo die Netzhaut und das Netzhautbild liegen. können eine solche Kugelfläche, welche in der Gegend der wirklichen zhaut liegt, eine ideelle Netzhaut nennen, auf der ein ideelles zhautbild liegt. Man mufs aber nicht glauben, dafs eine solche ematische Netzhaut der wirklichen in ihren Dimensionen anders als in grober Annäherung entspricht. Die wirkliche Netzhaut hat eine ellipsoi-he Form, und das Netzhautbild der äufseren Gegenstände auf ihr ist enfalls durch die Asymmetrien des brechenden Apparats mannigfach ver-en. Auch halte ich für mein Theil für wahrscheinlich, dafs es ganz chgiltig für das Sehen ist, welche Gestalt, Form und Lage die wirkliche zhaut hat, welche Verzerrungen das Bild auf ihr erleidet, wenn es nur rall scharf ausgeprägt ist, und weder die Form der Netzhaut noch die Bildes im Laufe der Zeit sich merklich verändert. Im natürlichen ufstsein des Sehenden existirt die Netzhaut gar nicht. Weder durch Hilfsmittel der gewöhnlichen Empfindung, noch selbst durch wissen-aftliche Versuche sind wir im Stande, von den Dimensionen und der e und Form der Netzhaut des lebenden Auges irgend etwas zu erfahren, ser was wir an ihrem optischen Bilde, welches die Augenmedien nach sen entwerfen, ermitteln können. Nur durch die Augenmedien hindurch kehrt die Netzhaut der Regel nach mit der Aufsenwelt, und existirt diese auch gleichsam nur so, wie sie in ihrem optischen Bilde erscheint. Repräsentant dieses optischen Bildes ist das von uns definirte Sehfeld.

Wenn zwei helle Punkte im Sehfelde vorhanden sind bei fester Stellung Auges, so werden zwei verschiedene Sehnervenfasern durch deren Licht egt und es entstehen zwei Empfindungen, die durch eigenthümliche Local-chen von einander unterschieden sein müssen, da wir sie in der Empfindung unterscheiden im Stande sind. Welcher Stelle der Netzhaut diese Local-chen angehören, wissen wir von vorn herein ebenso wenig, als wo die nervenfasern liegen, die sie leiten, und zu welchen Stellen des Gehirns Erregung fortgeleitet wird. Wir können uns darüber nur durch wissen- n
aftliche Untersuchungen Aufschlufs verschaffen; hinsichtlich des den Seh-ven und das Gehirn betreffenden Theiles der Frage sind wir dabei bis t noch nicht über die ersten einleitenden Schritte hinausgekommen. Wohl 540
r wissen wir durch tägliche Erfahrung, wie wir den Arm ausstrecken müssen, einen oder den andern hellen Gegenstand entweder zu berühren oder erem Auge zu verdecken. Wir können also direct durch solche Be-gungen die Richtung im Sehfelde ermitteln, wo sich die Objecte befinden, l wir lernen direct die besonderen Localzeichen der Empfindung zu ver-den mit dem Orte im Sehfelde, in den das Object gehört. Dies ist auch Grund, warum wir die Gegenstände trotz ihrer umgekehrten Netzhaut-der aufrecht sehen. Die Netzhautbilder kommen bei der Localisation der jecte eben gar nicht in Betracht; sie sind nur Mittel, die Lichtstrahlen

541 je eines Punktes des Gesichtsfeldes auf je eine Nervenfaser zu concentri Wir hätten gerade ebenso viel Recht, uns darüber zu wundern, warum Buchstaben eines gedruckten Buches nicht von rechts nach links verk sind, da ja doch die metallenen Lettern, mit denen es gedruckt ist, kehrt sind.

Es ist also richtiger zu sagen: „wir empfinden, an welchem Orte Sehfeldes ein Object erscheint", als zu sagen: „wir empfinden den Ort Netzhaut, auf dem es abgebildet ist". Dies letztere hat einen richti Sinn, insofern darunter nur gemeint ist, dafs gewifse Eigenthümlichkeiten Empfindung, nämlich ihre Localzeichen, eigenthümlich sind denjeni Empfindungen, die durch einen bestimmten Ort der Netzhaut uns zugele werden, und für die wissenschaftliche Untersuchung würden wir die loca Verhältnisse der Empfindung auch durch den Ort der Netzhaut, auf das Licht fällt, charakterisiren können. Der Ausdruck erregt aber im das Mifsverständnifs, dafs wir beim natürlichen Sehen irgend eine verborgener Kenntnifs von der wirklichen Existenz und Lage der Netzh stelle haben müfsten, zu welcher Behauptung mir gar kein Grund zuliegen scheint.

Es ist schon früher hervorgehoben worden, dafs diese Verbind zwischen den localen Unterschieden der Empfindung und der Richtung Sehfelde so ausschliefslich ist, dafs wir gar kein Mittel haben, die loc Bestimmtheit unserer Empfindungen weder in unserem eigenen Bewufsts noch in der Mittheilung für andere anders zu bezeichnen, als indem wir Stelle des Sehfeldes angeben, auf die sich die Empfindung bezieht.

Nachdem wir diese Definition festgestellt haben, können wir uns zu Untersuchung wenden, wie weit unsere Fähigkeit reicht, Gröfsenverhältni im Gesichtsfelde zu beurtheilen, und welchen Täuschungen wir dabei a gesetzt sind. Jede genauere Vergleichung zweier Raumgröfsen, Lini Winkel oder Flächen im Gesichtsfelde nimmt Augenbewegungen zu Hi Wir wollen zunächst untersuchen, was wir mit Hilfe solcher Bewegung erreichen können, und später, wie sich die Ausmessungen verändern, we wir die Augenbewegungen ausschliefsen. Ich wähle diese Ordnung, weil die Abmessungen mit Augenbewegungen, wie sie die genaueren sind, so a die ursprünglicheren zu sein scheinen.

Ueber die Genauigkeit in der Vergleichung nahe gleicher Abstände Gesichtsfelde sind von Fechner[1] und Volkmann Versuche angestellt word Ersterer hat einen Zirkel auf Distanzen von 10, 20, 30, 40 und 50 ha Pariser Decimallinien eingestellt, und die Spitzen eines zweiten Zirkels na dem Augenmaafs in dieselbe Distanz gebracht, wobei beide Zirkel, bis die Spitzen verdeckt in deutlicher Sehweite, 1 Pariser Fufs vom Au entfernt, vor ihm neben einander auf dem Tische lagen. Nach jeder E stellung wurde der Fehler derselben bestimmt. Volkmann hing neb

---

[1] Fechner, *Psychophysik.* Bd. I. S. 211—236. Andere auch von Hegelmayer in *Vierordts Archiv* 844—853.

nander drei durch Gewichte gespannte Fäden in verticaler Richtung und
rizontal gegen einander verschiebbar auf, und machte nach dem Augen-
aafse ihre Abstände gleich, welche wechselten zwischen 10 und 240 Milli- 542
eter, wobei sein Auge 800 Millimeter von den Fäden entfernt war. Die
umme der bei den unter gleichen Umständen gemachten Versuchsreihen ge-
achten Fehler wurde genommen, wobei vom Sinne der Fehler abgesehen
urde, und diese Summe durch die Zahl der Beobachtungen dividirt; so
hielt er den **mittleren Fehler**, der bei diesen Versuchen stets nahehin
en gleichen Bruchtheil der ganzen verglichenen Länge ausmachte. Die
röfse dieses mittleren Fehlers betrug im Mittel aus allen Beobachtungen
Bruchtheilen der ganzen Länge der verglichenen Linien

bei Fechner	$\frac{1}{62,1}$
bei Volkmann, frühere Versuche	$\frac{1}{88,0}$
bei demselben, spätere Versuche	$\frac{1}{101,1}$

Es zeigte sich demnach für diese Beobachtungen das von Weber auf-
estellte und von Fechner verallgemeinerte psychophysische Gesetz gültig,
elches wir schon bei der Untersuchung über die Abhängigkeit der Stärke
er Lichtempfindung von der objectiven Helligkeit kennen gelernt haben,
onach die unterscheidbaren Unterschiede der Empfindungsgröfsen der
esammten Gröfse des Empfundenen proportional sind.

Andere Versuche wurden mit viel kleineren mikrometrisch zu messenden
istanzen von Volkmann und einem seiner Schüler angestellt. Die
istanzen waren durch drei feine parallele Silberfäden, von 0,445 Millimeter
icke und 11 Millimeter Länge bestimmt, welche durch Mikrometer-
chrauben verschoben werden konnten. Sie wurden ebenfalls so eingestellt,
afs ihre Entfernung, wechselnd von 0,2 bis 1,4 Millimeter nach dem
ugenmaafs gleich gemacht wurde. Die Fehler nahmen in diesem Falle nicht
ehr proportional den gemessenen Distanzen ab, sondern näherten sich einer
nteren Grenze, wie zu erwarten war, da bei so kleinen Distanzen die
enauigkeit in der Unterscheidung kleinster Theile des Gesichtsfeldes,
elche von der Feinheit der Netzhautelemente abhängt, mit in Betracht
ommen mufs. Der mittlere Fehler Δ konnte aber dargestellt werden als
ie Summe eines constanten und eines dem Abstande D der Fäden pro-
ortionalen Gliedes, nach der Formel

$$\Delta = v + WD$$

vorin v und W zwei Constanten bezeichnen. Es ergaben sich hierbei
educirt auf 340 Millimeter Sehweite folgende Werthe dieser Constanten

	v in Millimetern	W
VOLKMANN horizontale Abstände	0,008210	$\frac{1}{79,1}$
Derselbe verticale Abstände	0,007319	$\frac{1}{45,1}$
APPEL horizontale Abstände	0,005331	$\frac{1}{164,5}$
Derselbe ebenso später	0,008548	$\frac{1}{85,3}$

543 Die Werthe von W zeigen, dafs die Vergleichung verticaler Abst viel unvollkommener ist, als die Vergleichung horizontaler. Dasselbe b achtet man übrigens auch sogleich, wenn man eine Reihe verticaler horizontaler Linien auf Papier zieht und sie nach dem Augenmaafse halbiren sucht, und dann die abgetheilten Längen mit dem Maafsstab gleicht. Die Fehler in der Halbirung verticaler Linien werden im gemeinen viel gröfser, als die von horizontalen. Wenn man sich selbst b achtet bei der Vergleichung zweier Abstände oder zweier gerader Lin so findet man, dafs kleine Unterschiede nur bemerkt werden, wenn man n einander den Fixationspunkt bald in die Mitte der einen, bald in die M der andern Linie bringt, sodafs die beiden Linien nach einander auf d selben Theilen der Netzhaut abgebildet werden. Bei festgehaltenem Fixati punkte läfst man manches als gleich durchgehen, was sich sogleich als schieden zu erkennen giebt, wenn man mit der Richtung des Blicks in angegebenen Weise wechselt.

Sehr viel schwieriger erweist sich die Vergleichung von horizont Längen mit verticalen, und es zeigt sich dabei ein constanter Fehler, in wir nämlich geneigt sind, verticale Linien für länger zu halten als gl lange horizontale. Man sieht dies am besten, wenn man sich bemüht, n dem Augenmafse ein Quadrat zn zeichnen auf einem Papiere, welches n senkrecht gegen die Gesichtslinie hält. Man macht die Höhe immer niedrig, und zwar, wie ich bei mir selbst finde, um $^1/_{30}$ bis $^1/_{60}$ der Gru linie, im Mittel etwa um $^1/_{40}$; doch scheint dieses Verhältnifs in verschiede Augen sehr zu variiren, WUNDT[1] giebt die Gröfse dieser Differenz an ein Fünftheil.

VOLKMANN[2] hat auch Versuche angestellt über die Fehlergröfsen, wel bei Schätzung des Verhältnisses zweier nicht gleichen Distanzen began wurden. Der Beobachter stellte eine bewegliche Linie zwischen zwei and ein auf $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$, $^4/_{10}$, $^5/_{10}$ der ganzen Entfernung. Dabei zeigten s erstens Abweichungen zwischen dem Mittel aller Einstellungen für gewisses Gröfsenverhältnifs und der wirklich richtigen Einstellungen, wel VOLKMANN **constante Fehler** nennt, und zweitens Abweichungen von d

---

[1] W. WUNDT, *Vorlesungen über Menschen- und Thierseele,* S 255. Leipzig, 1863.
[2] A. W. VOLKMANN, *Berichte der Kön. Sächs. Ges.* vom 7. August 1858.

ttel der Einstellungen oder variable Fehler. Die constanten Fehler chten die links liegende Distanz immer etwas zu grofs im Verhältnifs zur hts liegenden. Als die zu theilende Gröfse eine Pariser Linie war, betrug r Werth der constanten Fehler in Tausendtheilen einer Linie im Mittel s je 40 Versuchen:

Constanter Fehler, aus je 40 Versuchen berechnet.

sgangs-nkt von	Geforderte Verhältnisse.								
	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Links	13,4	19,8	6,7	11,7	3,4	13,4	24,8	10,0	6,8
Rechts	—10,8	— 9,3	—20,0	—12,0	— 6,2	— 4,5	— 9,5	—19,7	—19,4
Unten	+ 2,9	+ 2,9	—12,1	— 5,9	—13,5	— 2,2	+ 7,2	+ 5,1	+11,6
Oben	— 5,0	— 4,7	— 6,0	+ 3,9	+ 9,7	+13,6	—17,4	— 7,3	—10,8

In den beiden oberen Reihen lag die zu theilende Distanz horizontal, 544
den beiden unteren vertical. Als Ausgangspunkt ist das Ende derselben gegeben, von wo der abzumessende Theil angefangen wurde abzumessen.

Die variablen Fehler wurden nach ihrer absoluten Gröfse ohne Rücksicht f das Vorzeichen addirt und dann durch die Anzahl der Beobachtungen idirt. Es ergaben sich nahehin gleiche mittlere Gröfsen derselben für nplementäre Verhältnisse. Ihre Gröfse war im Mittel von je 160 Beobhtungen (für 0,5 nur 80 Beobachtungen)

Mittelwerthe der variablen Fehler.

Zu theilende Distanz	Gefordertes Verhältnifs				
	0,1 und 0,9	0,2 und 0,8	0,3 und 0,7	0,4 und 0,6	0,5
Horizontal	6,73	4,36	3,01	2,64	1,11
Vertical	7,09	9,01	9,95	8,61	7,98.

Absolut gröfser, aber relativ etwas kleiner wurden die Fehler in einer deren Versuchsreihe, wo der ganze zu theilende Abstand 100 Millimeter trug, und die Grenzen der betreffenden Abstände durch drei feine von m Maafsstabe herabhängende Menschenhaare angezeigt waren. Die Gröfsen d in Zehntelmillimetern angegeben, sodafs die Einheit wieder ein Tausendeil der zu theilenden Gröfse beträgt.

Constante Fehler.

sgangs-nkt von	Gefordertes Verhältnifs								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Links	2,35	7,45	0,5	10,7	4,15	12,4	11,3	0,85	4,10
Rechts	—1,8	+0,6	—11,1	— 5,2	—4,0	— 7,5	— 5,5	—4,4	—2,8

Mittelwerthe der variablen Fehler.

Für	den	Bruch	0,1	und	0,9	= 2,6
„	„	„	0,2	„	0,8	= 5,6
„	„	„	0,3	„	0,7	= 7,9
„	„	„	0,4	„	0,6	= 6,5
„	„	„	0,5			= 2,8.

Wenn nun nicht blos gleiche Entfernungen als gleich erkannt, son
ungleiche Entfernungen ihrem Gröfsenverhältnifs nach erkannt werden sc
so ist es nöthig, diejenige Linie zwischen den Endpunkten der gegeb
Entfernung zu bestimmen, welche als Maafs der Entfernung zu benutzer
In der Ebene ist dies die gerade Linie. Im Blickfelde, als einer gekrü
erscheinenden Fläche, können gerade Linien nicht gezogen werden,
selbst um kürzeste Linien auf der Fläche zu ziehen, müfsten wir
genaue Anschauung von der Krümmung der Fläche des Blickfeldes
bringen, die wir nicht bestimmt genug haben. Wenn man sich das Blic
als eine Kugelfläche vorstellt, deren Mittelpunkt der Drehpunkt des A
ist, wie dies zum Zwecke wissenschaftlicher geometrischer Erörteru
gewöhnlich geschieht, so könnte man vermuthen, dafs objectiv gerade Li
der Aufsenwelt, die sich als gröfste Kreise in das kugelförmige Blicl
545 projiciren, als kürzeste Linien, als Linien ohne Krümmung in dem Gesi
felde erscheinen müfsten. Das ist aber nur unter gewissen Bedingu
der Fall.

Wenn wir eine gerade Linie betrachten, zum Beispiel die Kante e
Lineals, und durch das Augenmaafs zu ermitteln suchen, ob sie wirl
gerade oder gekrümmt sei, so zeigt sich das Urtheil nach der schoı
vorigen Paragraphen erwähnten Täuschung abhängig von der Richtung
Auges im Kopfe. Halten wir das Lineal horizontal und zu niedrig
erscheint die Kante nach oben concav; halten wir es zu hoch, so erscl
sie nach unten concav. Dafs dabei eine Augentäuschung stattfindet, erk
man schnell, wenn man das Lineal so umwendet, dafs die Kante statt
oben nun nach unten sieht. Dann müfste eine wirklich nach unten con
Kante jetzt nach oben concav sein, und umgekehrt. Aber wenn das Li
richtig und gerade ist, bleibt die Augentäuschung bestehen. Hält man
Lineal aber so, dafs die Mitte seiner Kante der Primärstellung entspr
so erscheint diese gerade, wenn sie wirklich gerade ist. Nun wählt
allerdings durch einen natürlichen Trieb die Primärstellung, wenn man
eine solche Frage durch das Augenmaafs entscheiden soll, doch ist die Sic
heit, mit der man diese Stellung einhält, nicht sehr grofs. Dagegen f
ich, dafs ich ziemlich geringe Krümmungen von Linealen in der Pri
stellung erkennen kann, wenn ich das Lineal umwende, so dafs ich bald
eine, bald die andere Fläche desselben gegen mich kehre. Auf diese W
konnte ich bei einem Elfenbeinlineale von 200 Millimeter Länge, welc
convex war und dessen Krümmung in der Mitte nur 0,35 Millimeter von

eraden Linie nach aufsen bauchte, dessen Krümmungsradius demnach etwa 4 Meter betrug, die Krümmung mit dem Auge richtig erkennen, ebenso i einem anderen concaven Lineale, welches in der Mitte ein halbes Milli-eter abwich. So genaue Bestimmungen sind aber nicht bei fixirtem Blicke, ndern nur mit Hilfe der Augenbewegungen möglich.

Wir sind ferner im Stande, mit grofser Genauigkeit zu entscheiden, ob erade Linien einander parallel sind oder nicht. Um das zu ermitteln, lassen ir den Blick an einer von ihnen, oder in der Mitte zwischen ihnen hin d hergehen, und erkennen dann mit ziemlich grofser Genauigkeit, ob ihr bstand nach dem einen Ende hin ebenso grofs, oder ob er gröfser ist als n andern Ende. So sind wir ferner auch mit verhältnifsmäfsig grofser Sicher-eit im Stande zu erkennen, dafs zwei Winkel, deren Schenkel einander rallel gerichtet sind, einander gleich grofs sind, weil wir eine kleine Ab-eichung vom Parallelismus der Schenkel leicht erkennen und daraus dann if Ungleichheit der Winkel schliefsen. Nach Versuchen von E. Mach[1] eschieht die Beurtheilung des Parallelismus genauer für horizontale und erticale Linien als für geneigte. Dagegen ist die Vergleichung solcher Vinkel, deren Schenkel nicht parallel mit einander sind, nicht nur sehr nsicher, sondern auch ziemlich regelmäfsigen constanten Fehlern unterworfen.

Verhältnifsmäfsig die einfachste Aufgabe dieser Art ist, zu entscheiden, o ein Winkel seinem Nebenwinkel gleich und also ein rechter sei. Wenn on zwei sich rechtwinkelig kreuzenden geraden Linien die eine horizontal, die 546
dere vertical ist, so erscheinen für das rechte Auge der meisten Indivi-uen die nach rechts oben und links unten liegenden rechten Winkel wie umpfe, die beiden andern wie spitze Winkel. Für das linke Auge um-ekehrt erscheinen die dem rechten Auge stumpf erscheinenden Winkel spitz, e spitzen stumpf. Dabei ist zu beachten, dafs man beide Augen nach inander senkrecht gegen die Fläche der Zeichnung auf den Kreuzungspunkt er Linien einstellen mufs. Versucht man dagegen nach dem Augenmaafse ı einer gegebenen Horizontallinie eine Verticale zu ziehen, so weicht deren eres Ende um etwa einen Grad nach rechts herüber, wenn man mit dem echten Auge sehend die Zeichnung gemacht hat, und nach links, wenn es it dem linken Auge geschah. So stellt *Fig. 212* (auf S. 688) ein für mein rechtes uge scheinbar richtiges rechtwinkeliges Kreuz der Linien *a b* und *c d* vor, ährend die Linienstücke γ und δ die Lage der wirklich richtigen Verticalen ezeichnen. Sehe ich mit dem linken Auge dieselbe Zeichnung an, so rscheint mir das obere Ende von *c d* im Gegentheil übertrieben nach rechts eneigt.

Die Gröfse des Irrthums, den man betreffs der rechten Winkel begeht, ängt von der Neigung ihrer Schenkel gegen den Netzhauthorizont ab. h sehe rechte Winkel richtig mit dem rechten Auge, wenn das obere nde des einen Schenkels um etwa 18 Grad von der Verticale nach links

[1] E. Mach, *Sitzungsber. d. K. K. Akad. zu Wien*, 1861, Bd. XLIII. 215—224.

abweicht, mit dem linken Auge, wenn es um etwa ebenso viel nach re abweicht. Dagegen erscheint der Unterschied am gröfsten, wenn Schenkel um 45 Grad von der zul genannten Lage aus gedreht werden, bei die nach rechts und links geöffne Winkel etwa wie Winkel von 92°, nach oben und unten gekehrten wie erscheinen.

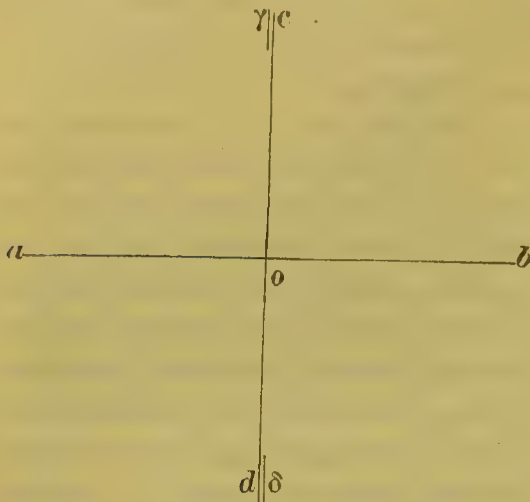


Fig. 212.

Wenn der eine Schenkel horizo liegt, erscheinen als rechte Winkel meine Augen solche von 91°,2 und 88 bei VOLKMANN[1] beträgt der für linke Auge 91°,1, für das rechte 90 doch hat letzterer Beobachter bei die Versuchen nicht ein Kreuz beobach sondern eine einzelne Linie bald h zontal, bald vertical zu stellen gestrebt; die einzelnen Beobachtungen s dabei je 60 Mal wiederholt worden.

Ebenso finde ich, dafs man auffallend grofse Fehler macht, wenn n einen Winkel von 30 bis 45 Grad zeichnet, dessen einer Schenkel horizor liegt, und sich dann bemüht nach dem Augenmaafse eine dritte, der Ve calen nähere Linie durch den Scheitel des genannten Winkels zu ziehen, dafs ein zweiter Winkel entsteht, der jenem ersten gleich sei. Man ma diesen zweiten regelmäfsig beträchtlich zu grofs. Wenn der erste Win
547 30° betrug, machte ich den zweiten gröfser als 34°, gleichviel ob mit dem rechten oder linken Auge hinsah, und ob der Winkel sich n rechts oder links öffnete. Drehte ich die Figur aber so, dafs der zule gezeichnete Schenkel nun horizontal lag, so erschien der Gröfsenuntersch übertrieben.

Dahin gehört auch die Thatsache, dafs in einem richtig gezeichnet gleichseitigen Dreieck, dessen eine Seite horizontal liegt, der Winkel an Spitze immer kleiner erscheint, als die Winkel an der Basis.

Fragen wir nun, wie ist es überhaupt möglich, dafs Raumgröfsen, verschiedenen Theilen des Sehfeldes angehören, mit einander verglich werden können, so lehren uns die oben erwähnten Selbstbeobachtungen sch eine Methode der Vergleichung, so oft besagte Raumgröfsen so liegen, d sie nach einander auf demselben Theile der Netzhaut, und zwar am best auf ihrer Mitte, so abgebildet werden können, dafs ihre entsprechend Punkte nach einander auf dieselben Punkte der Netzhaut fallen. In That ist dies das Verfahren, welches wir anwenden, um nach dem Auge maafse zum Beispiele die Länge zweier geraden Linien *A* und *B*, die e ander parallel sind, zu vergleichen. Wir richten den Blick erst auf

---

[1] A. W. VOLKMANN, *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Heft 2. S. 224 u. 225. Leipzig, 1

Mitte von A, dann auf die Mitte von B, dann wieder von A und so fort, ınd suchen zu ermitteln, ob wir in beiden Fällen ganz denselben Eindruck rhalten, d. h. ob dieselben Netzhautpunkte in derselben Erstreckung von en Bildern beider Linien getroffen werden. Dabei brauchen wir offenbar on der Form und Länge des Bildes auf der Netzhaut nichts zu wissen. ›ie Netzhaut ist wie ein Zirkel, dessen Spitzen wir nach einander an die nden verschiedener Linien ansetzen, um zu sehen, ob sie gleich lang sind, der nicht, wobei wir über die Entfernung der Zirkelspitzen und die Form es Zirkels nichts weiter zu wissen brauchen, als dafs sie unverändert gelieben sind.

Ein Unterschied aber ist zwischen der Vergleichung mittels der Netzaut und der mittels des Zirkels. Die Verbindungslinie der Zirkelspitzen önnen wir nach jeder Richtung hinwenden, das können wir aber dem Geetze der Augenbewegungen zufolge nicht thun mit der Verbindungslinie je weier Netzhautpunkte, wenn wir nicht ausgiebige Bewegungen mit dem opfe machen wollen, welche wegen der damit verbundenen gröfseren Anrengung lange nicht so häufig und so schnell wechselnd gemacht werden önnen, und wenn sie gemacht werden, meist eine wesentliche Veränderung es Gesichtspunkts, des Ortes unseres Auges im Raume und somit der anzen perspectivischen Ansicht zu Folge haben. Wenn ab und $\alpha\beta$ zwei aare von Punkten im Gesichtsfelde sind, deren Entfernung verglichen erden soll, und ich etwa zuerst a fixirt habe, so dafs sich a auf dem entrum der Netzhautgrube A, und der Punkt b auf dem Netzhautpunkte abgebildet hat, wenn ich dann das Auge wende und α fixire, so dafs α f dem Centrum der Netzhaut A abgebildet ist, so wird der Netzhautpunkt bei der neuen Stellung der Gesichtslinie eine ganz bestimmte Lage haben, e ich ohne Bewegung des ganzen Kopfes nicht willkürlich ändern kann, d die Richtung der Linie $\alpha\beta$ im Gesichtsfelde mufs eine ganz bestimmte in, damit sich β auf B abbilden kann.

Wenn a, b, α und β nahe genug dem Hauptblickpunkte liegen, dafs ir das sie umschliefsende Stück des Gesichtsfeldes als Ebene betrachten 548
nnen, so können die Linien ab und $\alpha\beta$ nach einander auf denselben Netzutpunkten nur dann abgebildet werden, wenn sie einander parallel sind. en deshalb können nun die Längen zweier paralleler Linien gut und her miteinander verglichen werden, während wir bei der Vergleichung cht paralleler Linien, selbst wenn sie einander nahe liegen, grofsen Irrümern ausgesetzt sind.

In derselben Weise kann, wie schon oben angeführt ist, der Parallelismus eier Linien durch die Gleichheit ihrer Abstände an allen Stellen, und die eichheit von Winkeln mit parallelen Schenkeln gut beurtheilt werden.

Wenn nun eine Linie im Gesichtsfelde als gerade anerkannt werden ll, und sie geht durch den Hauptblickpunkt, so können wir, indem wir s Auge an ihr hingleiten lassen, ebenfalls ihre einzelnen Theile alle nach nander auf derselben Linie der Netzhaut abbilden. Wir haben im vorigen

Paragraphen gesehen, dafs wenn wir von einem geraden Linienstück, welc den Hauptblickpunkt schneidet, ein Nachbild entwickeln und den Blick Richtung des Meridians wandern lassen, in welchem jenes Linienstück li das Nachbild immer mit jenem Meridiane zusammenfällt. Das Nachbild zeichnet bei jenen Versuchen die Projectionen jener Netzhautstellen in Gesichtsfeld, welche den Eindruck des linienförmigen Objectes empfan haben, und es folgt aus diesem Versuche, dafs alle Theile eines solc Meridians nach einander auf denselben Netzhautpunkten abgebildet wer können.

Indem also das Auge einem solchen Meridiane des Sehfeldes folgt, v schiebt sich die entsprechende Linie des Netzhautbildes auf der entsprechen Linie der Netzhaut selbst, indem beide fortdauernd congruent zusamm fallen, und vor dem Auge verschiebt sich das Sehfeld gegen das Blickf so, dafs der betreffende Meridian des Sehfeldes sich in dem des Blickfel und stets mit ihm zusammenfallend verschiebt.

Dergleichen Linien im Blickfelde, deren Bild sich in sich selbst v schiebt, sind nun auch die im vorigen Paragraphen (Seite 651) erwähr Directionskreise oder Richtkreise, welche alle durch den Occipit punkt des Blickfeldes hindurchgehen. Dort ist nachgewiesen worden, d wenn ein linienförmiges Nachbild bei Fixirung eines Punktes eines solc Richtkreises mit seiner Richtung congruirt, es auch in allen anderen Punk mit ihm congruirt. Da das Nachbild auf der Netzhaut festliegt, so v dadurch auch constatirt, dafs die Linienelemente eines solchen Richtkre sich, wenn wir ihn mit dem Blicke durchlaufen, fortdauernd auf dersel Netzhautlinie abbilden.

Dafs ein linienförmiges Nachbild von geringer Länge mit denjeni andern Directionskreisen congruirt, welche im Occipitalpunkte dieselbe T gente haben, ist ebenfalls an der citirten Stelle schon bemerkt worden.

Durch die erwähnten Eigenthümlichkeiten bekommen nun die Richtkr für das Auge eine ganz besondere Bedeutung. Die gerade Linie in Ebene zeichnet sich dadurch vor allen anderen aus, dafs jedes Stück d selben jedem anderen Stücke congruent ist, wie man die beiden auch sammenlegen mag. Die Eigenschaft der Congruenz jedes Theils mit jedem and Theile und die damit zusammenhängende Verschiebbarkeit der Linie in
549 selbst theilt mit der geraden Linie nur noch der Kreis. Aber zwei Kreisbö von gleicher Länge und Krümmung müssen schon in einer bestimmten W zusammengelegt werden, um zu congruiren. Man kann ihre Enden aucl aufeinander legen, dafs die Linienstücke selbst nicht congruiren. Auf di Eigenschaft der geraden Linie beruht auch wesentlich ihre Bedeutung Längenmaafs. Denn dafür können wir nur eine Linie gebrauchen, die deutig bestimmt ist, wenn ihre Endpunkte bestimmt sind, und deren je Theil congruirend auf jeden andern gelegt werden kann.

Im Blickfelde giebt es nun nur eine Art von Linien, an denen durch einen unmittelbaren Act der Empfindung constatiren können, dafs

ı sich selbst verschiebbar und sich selbst also in allen ihren Theilen ongruent seien; das sind, wie die vorausgehende Erörterung zeigt, unter 'oraussetzung des Listing'schen Gesetzes, die Richtkreise. Zwar können uch andere Kreise im Blickfelde erscheinen, die wir für in sich selbst erschiebbar erklären müssen, aber wir können dies nur durch Messungen nd Schlüsse, nicht durch einen unmittelbaren Act der Empfindung constatiren.

Wenn ein Auge in seinen Bewegungen abweicht vom Listing'schen esetze, so existiren bei einem solchen nicht nothwendig Linien, die bei ewegungen des Blicks in ganzer Länge in sich selbst verschiebbar sind; ber man wird jedes Mal Linien construiren können, deren Elemente alle acheinander auf demselben das Centrum der Netzhaut schneidenden Linien-lemente der Netzhaut abgebildet werden können. Solche wollen wir Richt-nien des Blickfeldes nennen. Nur unter Voraussetzung des Listing'schen esetzes für die Augenbewegungen sind alle Richtlinien des Blickfeldes in ch selbst verschieblich und erscheinen dem Auge, dessen Blick an ihnen ntlang läuft, fortdauernd in unverändertem Netzhautbilde. Es ist dies eine esentliche Eigenthümlichkeit der dem Listing'schen Gesetze folgenden ugenbewegungen.

Gerade Linien des objectiven Raumes erscheinen im kugelförmigen esichtsfelde als gröfste Kreise desselben. Gröfste Kreise fallen mit den ichtkreisen nur zusammen, wenn sie durch den Hauptblickpunkt (die rimärstellung der Blicklinie) gehen. Dann erscheinen kurze Stücke von nen, wie die oben beschriebenen Versuche zeigen, als gerade Linien, sonst er gekrümmt, und zwar entgegengesetzt der wirklichen Krümmung der ichtkreise gekrümmt.

Die Richtkreise, beziehlich Richtlinien, müssen in der That in dem ichenhaften Blickfelde die Stelle der geraden Linien, welches die Linien nstanter Richtung in der Ebene sind, vertreten. Wir können mit einem ırzen Lineal in der Ebene eine beliebig lange gerade Linie ziehen, indem r zuerst eine solche ziehen, so lang als das Lineal es erlaubt, dann das neal längs der gezogenen Linie eine Strecke weit verschieben und so rtfahren. Ist das Lineal genau gerade, so erhalten wir bei diesem Ver-hren eine gerade Linie; ist es selbst etwas gekrümmt, so erhalten wir nen Kreis. Statt des verschiebbaren Lineals dient uns im Gesichtsfelde e mit einem linienhaften Gesichtseindruck, der unter Umständen bis zum achbilde gesteigert sein kann, versehene centrale Stelle des deutlichsten hens. Wir verschieben den Blick in Richtung dieser Linie, dabei verschiebt h die Linie selbst und zeigt uns die Fortsetzung dieser Richtung an. 550
der Ebene können wir jenes Verfahren gleich gut mit jedem geradlinigen er bogigen Lineal ausführen, im Gesichtsfelde aber ist für jede Richtung s Blicks und der Bewegung nur eine einzige Art von Linie möglich, die h fortdauernd in ihrer eigenen Richtung verschieben läfst.

Wir sehen also, wie durch die Augenbewegungen und ihr bestimmtes esetz gewisse Abmessungen im Blickfelde möglich werden. Nun finden

wir aber, wie oben schon bemerkt worden ist, dafs auch bei vollkomn ruhendem Auge im indirecten Sehen eine gewisse Beurtheilung der messungen des Sehfeldes möglich ist, die natürlich sehr viel unbestimm ist, als die, welche mittels des bewegten Blicks gewonnen wird, schon v das indirecte Sehen überhaupt keine grofse Genauigkeit gewährt. I aber die Fähigkeit zu solcher Abmessung da sei, zeigt sich am schlagends an subjectiven Erscheinungen, die überhaupt nur im indirecten Se beobachtet werden können, wie an der Aderfigur. Wir sind im Stan eine solche Figur nachzuzeichnen, ihre Verziehungen bei wechselnder leuchtungsrichtung wahrzunehmen, und haben überhaupt eine bestim flächenhafte Anschauung derselben, trotzdem wir nicht im Stande sind, du Bewegungen des Auges die Lage derselben auf der Netzhaut zu veränd und die einzelnen Theile derselben mit dem Blicke zu durchlaufen. Ebe zeigt sich bei momentaner Beleuchtung des Gesichtsfeldes durch einen B dessen Dauer zu kurz ist, als dafs eine merkliche Bewegung des Au während der Dauer der Beleuchtung ausgeführt werden könnte, dafs wir Stande sind, die Gestalt der vor uns liegenden Objecte der Hauptsa nach richtig zu beurtheilen.

Es kommen aber auch bei dieser Art der Betrachtung eigenthümli Täuschungen des Augenmaafses vor, welche in so fern wichtig sind, als uns Andeutungen über die Art, wie wir zur Ausmessung des Feldes indirecten Sehens gekommen sind, zu geben scheinen.

Erstens gehören hierher die schon vorher beschriebenen Täuschun in der Vergleichung von Winkeln mit nicht parallelen Schenkeln und Linien nicht übereinstimmender Richtung, weil, wie die Selbstbeobacht lehrt, Bewegung des Auges in diesen Fällen nichts beiträgt und auch ni beitragen kann zur Verbesserung des Urtheils. Die genannten Täuschun treten ebenso gut ein bei strenger Fixation eines Punktes als bei w derndem Blick.

Dazu kommt nun noch ein anderes System von Täuschungen, die bisher noch nirgends erwähnt gefunden habe, und welche sich beziehen die als ungekrümmt erscheinenden Linien des Sehfeldes und auf die sch bare Gröfse seiner peripherischen Theile. In der Ebene sind die gera Linien gleichzeitig die kürzesten und die, welche weder nach der ei noch nach der anderen Seite hin eine Krümmung zeigen. Auf der K sind es die gröfsten Kreise; deren Krümmungsradius ist senkrecht zur Ku fläche gerichtet, in der Kugelfläche selbst zeigen sie keine Krümmung. Kreise dagegen, welche kleiner sind als ein gröfster, erscheinen concav der Seite, wo das kleinere von ihnen abgegrenzte Kugelstück liegt, con auf der entgegengesetzten Seite.

Wir können nun fragen, welches sind die ungekrümmten Linien
551 Sehfelde? Sind es, wie man zunächst vielleicht vermuthen sollte, die gröf Kreise des kugelig gedachten Feldes? Davon, dafs diese es nicht in a Fällen sind, kann man sich leicht überzeugen.

Man wiederhole den früher erwähnten Versuch mit drei Sternen mit xirtem Blicke, während früher Bewegung des Blicks über dieselben hin orausgesetzt war. Man suche sich am Sternenhimmel drei helle Sterne, ie möglichst annähernd in einem gröfsten Kreise liegen, was man mittels ines ausgespannten Fadens, an dem man vorbei nach den drei Sternen in visirt, hinreichend genau erkennen kann. Man wähle diese Sterne öglichst weit von einander entfernt; doch müssen sie hell genug sein, um uch im indirecten Sehen noch leicht erkannt und von den benachbarten leineren unterschieden zu werden. Wenn man solche gefunden hat, fixire an den mittleren; sie werden in einer geraden Linie zu liegen scheinen, der wenn sie nicht ganz genau in einem gröfsten Kreise liegen, so erkennt an richtig den Sinn und ungefähr auch die Gröfse der Abweichung. Nun ähle man aber den Fixationspunkt in einiger Entfernung auf der einen der anderen Seite der Sternenreihe, man wird sogleich und sehr deutlich ie Reihe gegen den Fixationspunkt concav sehen, um desto mehr concav, weiter entfernt der Fixationspunkt von der Reihe der drei Sterne ist. araus lernen wir, dafs am Sternenhimmel bei unbewegter Blickrichtung n gröfster Kreis nur dann ungekrümmt erscheint, wenn er durch den ixationspunkt geht, dagegen concav gegen den Fixationspunkt, wenn er as nicht thut. Es folgt daraus weiter, dafs Linien, welche auf den perierischen Theilen des Gesichtsfeldes ungekrümmt erscheinen sollen, in Vahrheit auf dem Himmelsgewölbe convex gegen den Fixationspunkt sein üssen.

An irdischen Objecten wird man in der Beurtheilung der Ausmessungen es Sehfeldes zwar leicht beeinflufst durch die schon vorher erworbene enntnifs der wirklichen Ausmessungen des Objects, es gelingt aber doch ich an solchen dieselbe Täuschung wahrzunehmen.

Am zweckmäfsigsten ist es, sich weit über eine grofse Tischplatte zu eugen, so dafs man keine erkennbaren geraden Linien mehr im Gesichtslde hat, nach denen man sich richten könnte, und einen Punkt der Platte fixiren. Wenn man dann in einiger Entfernung vom Fixationspunkte rei Papierschnitzelchen oder andere helle Objecte hinlegt und dieselben in ne gerade Linie zu richten strebt, so findet man stets, sobald man den lick auf die Papierchen selbst richtet, dafs man sie in einen gegen den üheren Fixationspunkt convexen Bogen gelegt hat.

Wenn man über dieselbe Tischplatte einen langen von zwei parallelen inien begrenzten und etwa drei Zoll breiten Papierstreifen legt und dessen litte fixirt, so bemerkt man, dafs seine Enden im indirecten Sehen schmaler s die Mitte erscheinen, und dafs er von zwei mit ihrer Convacität gegen nander sehenden Bögen begrenzt erscheint.

An geraden Linien von geringerer scheinbarer Erstreckung bemerkt an die Krümmung meistentheils nicht, weil wir viel mehr geneigt sind, e als gerade Linien der körperlichen Objecte, denn als gröfste Kreise es Gesichtsfeldes zu betrachten und zu deuten.

552 Während nun gröfste Kreise concav gegen den Fixationspunkt erschein wenn sie nicht durch diesen selbst hindurchgehen, so erscheinen im Geg theil Kreise, welche Parallelkreise zu einem durch den Fixationspunkt gehend gröfsten Kreise sind, convex gegen den genannten Punkt. Man biege, dies zu prüfen, einen drei bis fünf Zoll breiten Papierstreifen zu einem Ha cylinder und bringe das Auge in dessen Axe. Fixirt man nun die Mitte Papierstreifens, so scheint derselbe nach beiden Seiten hin breiter zu werd und von zwei mit der Convexität gegen einander gekehrten Bög begrenzt. Die seitlichen Theile des Streifens befinden sich in dersell Entfernung vom Auge, wie die Mitte desselben, und erscheinen desha geometrisch betrachtet, unter demselben Gesichtswinkel, wie die Mit während sie scheinbar im Sehfelde sich gröfser darstellen als die Mitte Streifens.

Denken wir uns den Fixationspunkt am Horizont gelegen, über ihm finde sich in der Höhe *h* ein Punkt, durch den im indirecten Sehen eine scheinl ungekrümmte horizontal verlaufende Linie gezogen werden soll. Der gröf Kreis, welcher rechts und links in gleicher Entfernung den Horizont schnei und in der Entfernung *h* unter dem Occipitalpunkt des Beobachters hindur geht, erscheint nach unten concav. Ein wirklich überall horizontal v laufender Parallelkreis des Horizontes, der in der Entfernung *h* auch üb dem Occipitalpunkt hinweggeht, entspricht ebenfalls nicht der Aufgabe, erscheint convex nach unten. Da der erste dieser Kreise nach unten conc der zweite convex erscheint, so mufs die scheinbar ungekrümmte Li zwischen diesen beiden liegen, und wenn sie ein Kreis ist, so mufs weniger als *h* vom Occipitalpunkt entfernt über oder unter diesem hindur gehen. Da können wir nun an die Richtkreise des Blickfeldes denken, durch den Occipitalpunkt selbst hingehen. Versuchen wir es mit diesen.

Zu dem Ende habe ich die Richtkreise des Blickfeldes, welche mit durch den Fixationspunkt gehenden verticalen und horizontalen Linie übere stimmende Richtung haben, auf eine ebene Tafel projicirt; sie erschein dabei als Hyperbeln. Um sie im ganzen Sehfelde, auch in den indir gesehenen Theilen desselben möglichst deutlich erscheinen zu lassen, ha ich die Felder des von den Curven gebildeten Gitters schachbrettar schwarz und weifs gemalt, wie *Fig. 213* in verkleinertem Maa stabe $^3/_{16}$ zeigt; *A* bezeichnet die in gleichem Verhältnifs verkleinerte E fernung, in der das Auge des Beobachters von der Tafel, der Mitte d selben gerade gegenüberstehend, entfernt sein mufs. Der Mittelpunkt Tafel wird fixirt. Das Original der *Fig. 213* hatte ich an der Wa des Zimmers, seine Mitte in der Höhe meiner Augen über dem Bod befestigt; ein rechtwinkliges Winkelmaafs, dessen Katheten die Länge d für das Auge verlangten Entfernung von 20 Centimeter hatten, diente z Controlle dieses Abstandes, indem man eine seiner Katheten an die Ta anlegte und die Spitze des gegenüberliegenden Winkels den äufsern Auge winkel berühren liefs.

In der That erscheinen nun die als Hyperbeln[1] projicirten Richtkreise ›s Blickfeldes unter diesen Umständen im Gesichtsfelde als gerade Linien, 553
ler wenigstens als Linien, die nicht in der Fläche des Sehfeldes gekrümmt sind. ie einzelnen Vertical- ihen und Horizontal- ihen schwarzweifser elder sehen überall ge- de und überall gleich eit aus, so lange man iverwandt den Mittel- ınkt der Zeichnung irt. Natürlich erkennt ın aber die Krümmung r seitlich gelegenen elderreihen, sobald ın den Blick nach ıen hinwendet. Hier- i tritt eine eigen- ümliche Täuschung ı. Ich sehe nämlich, wie ich den Blick ındern lasse, die ichnung gewölbt, wie ıe flache Schüssel, so fs die Krümmung der yperbeln wie eine ümmung nach der Fläche erscheint und in dieser gekrümmten Fläche die nien als gröfste Kreise (oder kürzeste Linien) erscheinen. Es wird durch ese Anschauung der Widerspruch zwischen directem und indirectem Sehen ıigermaafsen aufgehoben. Nach den im Gesichtsfelde selbst gelegenen chtungen erscheinen die Hyperbeln nicht gekrümmt, nur des Gesichtsfeld lbst erscheint gekrümmt.

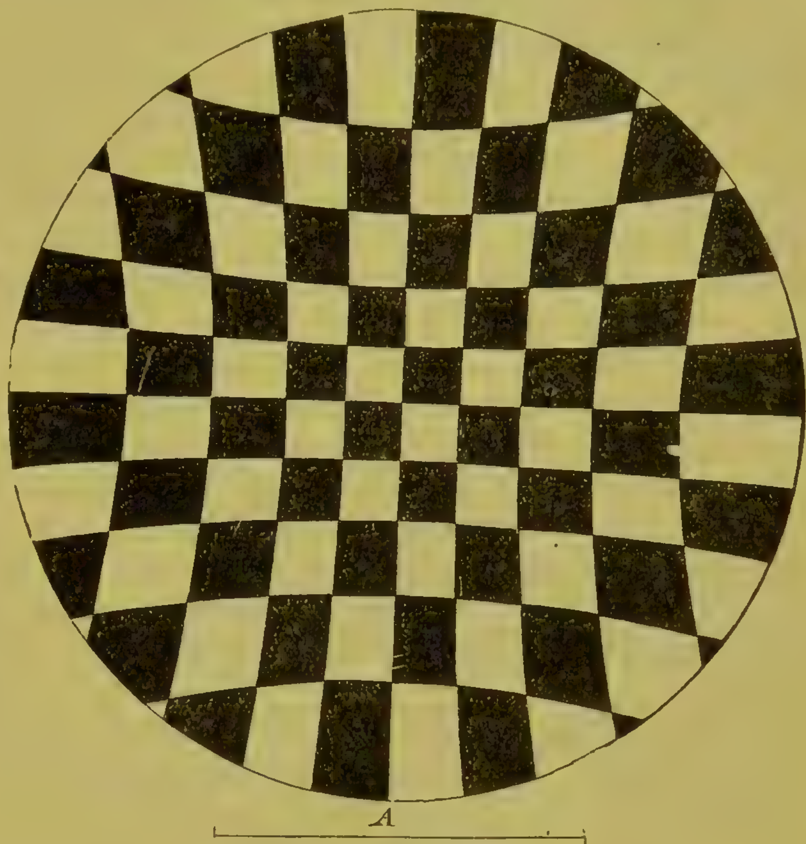


Fig. 213.

Man mufs also wohl darauf achten, dafs man bei dieser Beobachtung n Blick fest auf den Mittelpunkt der Tafel gerichtet hält. Sollte man sich n der Vorstellung ihrer wirklichen Gestalt nicht so schnell frei machen nnen, so erleichtert es die Täuschung, wenn man dicht vor das Auge eine nse hält, in deren Brennpunkt die Tafel liegt. Freilich erscheinen die ripherischen Theile der Tafel dadurch etwas verzerrt; die Brechung in der nse vergröfsert bei sehr schiefem Einfall der Strahlen die Krümmung der perbeln; aber der gröfsere mittlere Theil der Tafel wird durch die Linse,

[1] Die Gleichung dieser Hyperbeln ist im vorigen Paragraphen auf S. 653 unter 3 c) und den folgenden ımmern gegeben; die Abstände derselben in der mittleren Horizontale und Verticale sind so gewählt, s sie gleichen Gesichtswinkeln entsprechen.

wie in unendlicher Entfernung liegend gesehen und dadurch die Abstracti von seiner wahren körperlichen Gestalt begünstigt.

Am vollkommensten gelingt die Täuschung, wenn man den Mittelpu der Tafel so lange fixiert, bis ein kräftiges Nachbild entwickelt ist und m dies mit geschlossenen Augenlidern gegen das helle Fenster gewen betrachtet.

554 Ich verfuhr weiter so, dafs ich anfangs mein Auge weiter als 20 Cen meter von der Tafel entfernte, wobei die rechts und links, oben und unt gelegenen Hyperbeln gekrümmt erschienen, und mich dann allmählich näher bis sie mir gerade geworden waren, dann mafs ich den Abstand mei Auges von der Tafel mittels des erwähnten Winkelmaafses. Ging ich nc näher heran, so fingen die Hyperbeln an, sich scheinbar nach der entgeg gesetzten Seite zu krümmen, als nach der sie wirklich gekrümmt war Dabei fand ich fast stets für die Entfernung meines Auges von der Ta 20 Centimeter, wenn ich auf die Horizontallinien der Tafel achtete u diese gerade zu sehen trachtete, und auch für die mittleren Verticalstrei stimmte es gut. Für die äufseren, besonders die nach der Schläfenseite liegend Verticalstreifen dagegen war ich geneigt, eine der Tafel etwas nähere Stellu zu wählen. Deren wirkliche Krümmung schien in der Entfernung v 20 Centimeter, für die die Tafel berechnet war, noch nicht ganz aufgehob zu sein.

Auch bei schief gehaltenem Kopfe, wobei die Linien der Tafel schräg liegende Meridiane der Netzhaut fielen, blieben die Erscheinung dieselben.

Daraus geht also hervor, dafs so weit die Unbestimmtheit des indirect Sehens und des entsprechenden Augenmaafses zu beurtheilen erlaubt, Richtlinien des Blickfeldes, wie sie im Sehfelde bei fixirtem Hauptblickpunk erscheinen würden, die scheinbar ungekrümmten, also auch scheinbar kürzest Linien des Sehfeldes sind.

Diese besondere Gestalt der kürzesten Linien im Sehfelde hat nun no weitere Folgen für dessen scheinbare Gestalt und die scheinbare Gröfse Objecte, wie schon vorher bemerkt wurde. Man denke sich den horizontal Meridian des Sehfeldes gezogen und 10° über dessen Mitte in horizontal Richtung eine Richtlinie. Diese trifft mit jenem Meridian in 180° E fernung hinter dem Kopfe des Beobachters zusammen und tangirt ihn do in 90° Entfernung aber an den Rändern des Gesichtsfeldes ist die Richtli nur noch um 5° senkrecht entfernt von dem genannten Meridiane, und die beiden Kreise im Sehfelde als parallele Linien erscheinen, so erschei der senkrechte Abstand beider von 5° am Rande ebenso grofs wie der 10° in der Mitte, und in gleicher Weise erscheinen auch an anderen Stell des Randes des Sehfeldes die diesem Rande parallelen Dimensionen d Bilder relativ zu grofs.

Dies zeigt sich nun auch in folgenden Versuchen. Man stelle sich dafs man zur Seite um etwa 90° vom Fixationspunkt entfernt eine weil

ür in einer dunklen Wand, oder einen dunklen Baum vor der hellen immelsfläche hat, und beachte, wie hoch diese im indirecten Sehen erscheinen. n wende dann Auge und Kopf direct nach diesen Gegenständen hin, so rd man finden, dafs sie viel niedriger erscheinen, und dafs im Gegensatz der verminderten Höhe ihre Breite viel mehr heraustritt. Berge am nde des Gesichtsfeldes erscheinen in ähnlicher Weise höher und steiler, wenn man direct hinblickt.

Andererseits lege man einen weifsen Bogen Papier vor sich auf einen nklen Fufsboden und sehe horizontal gerade aus, so dafs das Papier am teren Rande des Gesichtsfeldes erscheint, es wird relativ zu breit von hts nach links erscheinen und sich scheinbar zusammenziehen, sobald n direct hinblickt.

Während so die der Peripherie des Sehfeldes parallelen Bögen ver- 555
ifsert erscheinen, erscheinen die peripherischen Theile der radial verlaufen- n Linien etwas verkleinert. Die Hyperbeln der *Fig. 213* sind so construirt, s aus der Entfernung *A* gesehen die Scheitel der horizontal und die der tical verlaufenden Hyperbeln um gleiche Gesichtswinkel von je 10 Grad n einander abstehen. Wenn also die Hyperbeln als gerade Linien er- einen, so sollten die schwarzen und weifsen Felder alle als gleich grofse adrate erscheinen. Das ist aber nicht der Fall; vielmehr erscheinen die der horizontalen Mittellinie weit nach oben und nach unten gelegenen adrate zu niedrig gegen ihre Breiten. Weniger deutlich finde ich es, dafs nach rechts und links gelegenen vielleicht etwas zu schmal in ihrer eite erscheinen. Doch ist überhaupt diese Vergleichung der Gröfsen direct l indirect gesehener Objecte sehr unvollkommen.

Eine farbige kreisförmige Pappscheibe vor einen contrastirenden Grund alten, erscheint daher am oberen und unteren Rande des Sehfeldes als e elliptische Scheibe mit längerem horizontalen Durchmesser. Weniger tlich zeigt sie sich am rechten und linken Rande des Sehfeldes als eine pse mit längerem verticalen Durchmesser.

Da die Seitentheile des Sehfeldes uns etwas zu hoch und etwas zu mal erscheinen, so besteht eine gewisse Neigung, sie für näher und schräg tellt gegen die Gesichtslinie zu halten. Sowie man den Blick nach ihnen wendet, scheinen sie zurückzuweichen und sich mehr senkrecht gegen die klinie zu stellen. Es ist dies eine Täuschung, die ich bei weit entfernten ecten am Horizont, am Sternenhimmel sehr gewöhnlich sehe. Das Seh- erscheint mir dann nicht als eine Kugel, in deren Mittelpunkt sich das ge befindet, sondern es erscheint stärker concav als eine solche; doch hte ich nicht sagen, dafs das monoculare Sehfeld bei unbewegtem Blicke uns mit einiger Entschiedenheit als eine bestimmt geformte Fläche stellte.

In der That lassen sich nun die hauptsächlichsten der eben beschriebenen enthümlichkeiten der Wahrnehmung in folgendem geometrischen Bilde mmenfassen. Man denke sich zuerst das Blickfeld als eine Hohlkugel,

in deren Mittelpunkt das Auge sich befindet. Man denke Radien v Mittelpunkte (Richtungslinien des Sehens) gezogen nach den einzelnen Obj punkten und verlängert bis zur Kugeloberfläche. Wo diese Radien Kugeloberfläche schneiden, ist das auf die Kugelschale projicirte Bild Objectes. Man denke sich die Objecte entfernt und nur durch ihre Bi auf der Kugelfläche des Blickfeldes ersetzt. Das Auge fixire den Ha blickpunkt; ihm gegenüber liegt der Occipitalpunkt. Ich sage: das A sieht die Objecte im Sehfelde scheinbar so vertheilt, wie es sie nach g metrisch richtiger Projection sehen würde, wenn es die Bilder auf Kugelfläche vom Occipitalpunkte derselben aus ansähe. Oder auch: Auge sieht die Gegenstände des Gesichtsfeldes wie in einer vom Occipi punkte aus entworfenen stereographischen Projection, diese vom Occipi punkte selbst aus betrachtet. Es ist dieselbe Art der Projection, wie bei geographischen Karten für Erdhalbkugeln immer angewendet wird.

In der That liegen die im Sehfelde als ungekrümmt erscheinen
556 Richtkreise in Ebenen, die durch den Occipitalpunkt gehen, und müs sich also von dort gesehen als geradlinig projiciren. Tangential gericht Erstreckungen längs der Peripherie des Sehfeldes müssen relativ gröfser ihnen parallele Strecken in der Mitte des Feldes erscheinen, weil erst dem Auge näher sind, als letztere. Dazu kommt nun noch, dafs in That das Sehfeld jedes Auges, welches geometrisch genommen von re nach links etwa 180 Grade einnimmt, scheinbar viel enger ist. Denn äufsersten nach rechts und links gelegenen Objecte, welche wir noch indirecten Sehen erkennen können, und deren gerade Verbindungslinie du unser Auge hindurchgeht, erscheinen uns doch noch immer, wie vor liegend, als ob die zu ihnen geführten Richtungslinien des Sehens ei stumpfen oder auch wohl rechten Winkel mit einander bildeten. Nament wenn man nach dem Himmel blickt, so dafs man keine irdischen Obje von bekannter Lage und Gröfse im Sehfelde hat, so scheint das helle F welches man vor sich hat, etwa den Durchmesser eines rechten Winkels rechts nach links, noch weniger sogar von oben nach unten zu haben, wo Aug brauen und Wange das Feld etwas verengern. Es macht den Eindruck, blickte man aus einer gewissen Tiefe des Kopfes hervor in die Aufsenw

Das eben angeführte geometrische Bild möchte ich nur als solches trachtet wissen; es fafst die Hauptzüge der scheinbaren Vertheilung Sehfelde zusammen, aber nicht alle. Die scheinbare Verkürzung der ra gerichteten, vom Hauptblickpunkte auslaufenden Strecken nahe der Periphe die namentlich am untern und obern Rande des Gesichtsfeldes deutlich v handen ist, wird durch jenes Bild nicht gegeben. Gleiche radiale Strec würden vielmehr in allen Theilen des Feldes gleich grofs erscheinen, da für das im Rückenpunkt der Kugel gelegene Auge durch gleiche Periphe winkel gemessen werden, wie für das im Mittelpunkte befindliche du gleiche Centriwinkel. Zu gleichen Centriwinkeln gehören aber bekanntl gleiche Peripheriewinkel.

Auch die scheinbare Abweichung der verticalen Meridiane und des rhältnisses der verticalen und horizontalen Dimensionen ist nicht rücksichtigt.

Wir kommen jetzt zu der Untersuchung, wie kann eine solche Aus-ssung des Sehfeldes entstehen.

Im Sinne der nativistischen Theorie ist sie durch gewisse organische richtungen von Geburt auf gegeben, eine Erklärung aus den Gesichts-cheinungen also nicht weiter zu suchen.

Die empiristische Theorie aber wird versuchen müssen, eine solche klärung zu finden. Wir setzen dabei voraus, dafs das Bewegungsgesetz Augen ausgebildet sei, was, wie im vorigen Paragraphen gezeigt wurde, ie eine Kenntnifs der Localisation der Eindrücke im Gesichtsfelde geschehen m, in Folge des Bestrebens, die Veränderungen der Eindrücke bei Be-gung des Auges als abhängig von dieser Bewegung und nicht von nderungen der äufseren Objecte zu constatiren. In Wirklichkeit mag, wie on früher bemerkt wurde, die Ausbildung des Augenmaafses sich theil-se gleichzeitig mit dem Gesetz der Bewegungen entwickeln und die ganze übung nicht so methodisch und in einzelne Stadien getrennt vor sich en, wie wir es hier der Uebersichtlichkeit wegen haben darstellen müssen. 557
Wesentlichen wird dadurch nichts geändert.

Wir haben im Anfange dieses Paragraphen auseinandergesetzt, wie unter e der Bewegungen des Auges zunächst ermittelt werden kann, in welcher henfolge die Objecte und die durch besondere Localzeichen charakterisirten en entsprechenden Netzhautpunkte in der Fläche jene des Gesichtsfeldes, e der Netzhaut geordnet sind. Es blieb nur noch übrig, die Entstehung bestimmten Gröfsenverhältnisse zu erörtern.

Wir haben dann gesehen, wie die Kenntnifs gewisser Linien im Blick-e, die in allen ihren Theilen übereinstimmende Richtung haben, und als sich selbst verschiebbar wahrzunehmen sind, der Richtlinien, durch ausgebildete Bewegungsgesetz der Augen gewonnen werden kann.

Wenn wir nun irgend ein Object im indirecten Sehen wahrnehmen, von also einen begrenzten Eindruck auf einen seitlichen Theil der Netzhaut lten haben, und dann den Blick jenem Objecte zuwenden, so erhalten hinterher einen Eindruck desselben Objects mit seiner gleichen schein-n Gröfse auch auf dem Centrum der Netzhaut, und können also aus hrung allmählich lernen, welchem centralen Eindrucke ein gewisser peri-ischer in Qualität und Gröfse gleich gilt. Dadurch ist die Möglichkeit ben, auch mittels des indirecten Sehens, soweit dessen Genauigkeit eicht, Objecte ihrer Form und scheinbaren Gröfse nach beurtheilen zu en.

Neben der Gröfse und Form wird aber auch eine Vergleichung der tung des erst indirect und dann direct gesehenen Objectes mit dem st direct gesehenen eintreten, es wird wahrgenommen werden, welche en beider Objecte sich auf denselben Meridianen der Netzhaut abbilden.

Diese Vergleichung der Lage wird allerdings etwas verschieden ausfal müssen, je nachdem wir von der Primärstellung oder von einer Secund stellung des Blicks ausgehen, obgleich das für normalsichtige Augen gelte Listing'sche Gesetz die Summe dieser Verschiedenheiten so klein als mög macht. Im Mittel aller Fälle aber wird die Vergleichung so ausfallen, wäre das erste Object in der mittleren Stellung, das heifst in der Prim stellung fixirt worden. Aufserdem ist schon früher hervorgehoben word dafs die Primärstellung als die bequemste und zur Orientirung vortheilhaft am meisten vom Auge eingenommen wird, und dafs wir Bewegungen, wel mit Drehung um die Blicklinie verbunden sind, zu vermeiden suchen. werden wir also durch Erfahrung kennen lernen können, welche Richtun in den Seitentheilen des Sehfeldes übereinstimmen mit den durch Fixationspunkt gezogenen Linien, und diese Uebereinstimmung wird sich Regel so feststellen, wie sie stattfindet, wenn der Fixationspunkt a Hauptblickpunkt ist, das heifst sämmtliche Linienelemente ein u derselben Richtlinie werden im Sehfelde übereinstimmen Richtung zu haben scheinen, und sämmtliche Richtlinien, im Occipitalpunkt einen und denselben Meridian des Sehfel tangiren, werden übereinstimmende Richtung haben.

Nun tritt aber diese Bestimmung der Linien von übereinstimmen Richtung in Widerspruch mit den Bestimmungen der scheinbaren Grö
558 welche bei Vergleichung der direct und indirect gesehenen Objecte anzuste sind. Linien von übereinstimmender Richtung im Sinne unserer Defini dieses Begriffs können sich nämlich nicht schneiden, denn wo sie schneiden, würden sie nicht in übereinstimmender Richtung erschei können. Sie erscheinen uns vielmehr thatsächlich parallel und überall gleichem Abstande. Dadurch wird es aber bedingt, wie wir oben gese haben, dafs die tangential gerichteten peripherischen Strecken relativ grofs erscheinen.

Dafs wir bei diesen Vergleichungen die Richtung der übereinstimmen Linien mehr berücksichtigen als die Gröfse der Objecte, hängt wohl davon dafs wir bei undeutlichen und verwaschenen Bildern, wie es die peripherisc des Sehfeldes in hohem Grade sind, Richtungen von Linien noch ziem gut und genau erkennen können, wenn die Form und Dimensionen Objects nur noch sehr ungenau erkannt werden. Wenn man eine fe schwarze Linie unter Umständen betrachtet, wo man nicht für sie accommodi kann und sie als einen verwaschenen Schattenstreifen sieht, so wird man i Breite gar nicht, ihre Länge nur sehr unvollkommen bemessen, ihre Richt aber noch sehr genau mit der eines scharf gesehenen Fadens vergleic können, indem man diesen dem Rande des Schattenstreifens parallel o auch gerade in die Mitte des Schattens einstellt. Nun machen die Bil in den Seitentheilen des Sehfeldes ungefähr denselben subjectiven Eindru wenn auch aus einem ganz andern Grunde, wie Bilder, die wegen schlecl Accommodation sehr verwaschen sind, und es scheint mir deshalb die Annal

lässig, und wird auch, wie mir scheint, durch directe Beobachtung bestätigt, fs man die Richtung der durch sie verlaufenden Linien verhältnifsmäfsig l sicherer bestimmt, als die Gröfse der dort befindlichen Objecte. Es rd mir wenigstens viel schwerer, mich über die Stellung zu entscheiden, ich nehmen mufs, um die äufseren Felder des Schachbrettmusters *g. 213* gleich breit mit den mittleren zu sehen, als es der Fall ist, wenn die Linien gerade gestreckt sehen will.

Dafs an den äufsersten Grenzen des schachbrettförmigen Feldes die chtlinien noch etwas gekrümmt erschienen, erklärt sich daraus, dafs von r Primärstellung ausgehend diese Stellen nur mit angestrengter Seiten-ndung des Auges zu erreichen waren, wie wir sie gewöhnlich nicht wenden. Um sie mit dem Blicke ohne ungewöhnliche Anstrengung eichen zu können, mufste der Blicklinie für das Centrum der Scheibe e Wendung nach der entgegengesetzten Seite gegeben werden. Bei solcher ellung aber würden die Richtlinien des Sehfeldes an der betreffenden elle der Peripherie wirklich weniger gekrümmt sein, als die Hyperbeln.

In dem mittleren deutlich gesehenen Theile des Sehfeldes können wir, gen seiner geringen Ausdehnung von der Krümmung der Kugelfläche und auf ihr gezogenen Richtlinien, absehen. Wir können in diesem Theile s Sehfeldes übereinstimmende Richtlinien als parallele gerade Linien rachten. Hier mufs auch die Vergleichung der Form, Gröfse und Lage Objecte, wenn wir sie bald indirect, bald direct betrachten, überein-mmende Resultate geben. Hier wird also auch eine genauere Vergleichung irect gesehener Strecken mit parallelen direct gesehenen möglich werden, hrend unsere Vergleichungen solcher Strecken von den peripherischen 559
eilen des Gesichtsfeldes sehr unsicher und fehlerhaft sind. Nicht überein-mmende Strecken werden aber auch in der Mitte des Gesichtsfeldes ht unmittelbar, sondern nur mit Hilfe von Drehungen des Kopfes r des Objects verglichen werden können, eine Art der Vergleichung, che nothwendig viel unvollkommener ist, als die durch Drehung des Auges in.

Die oben angegebenen Thatsachen lehren nun auch weiter, dafs man der That solche Linien und Winkel, welche übereinstimmende Lage haben, deshalb mit denselben Netzhautpunkten zur Deckung gebracht werden nen, leicht und gut auch der Gröfse nach miteinander vergleicht, während Gröfsenverhältnisse solcher Linien und Winkel, die nicht übereinstimmende e haben, sowohl eine beträchtliche Unsicherheit, als auch gewisse regel-fsige constante Fehler bei der Vergleichung zeigen. Bis zu einem ge-sen Grade lernen wir natürlich auch Linien und Winkel vergleichen, die t übereinstimmende Lage haben, wie die Seiten und Winkel eines Quadrats r eines gleichseitigen Dreiecks, indem wir entweder die Objecte vor uns en und herumdrehen, so dafs wir sie in verschiedener Stellung erblicken, r indem wir unseren Kopf drehen. Beides geschieht aber nicht so häufig, t in so regelmäfsig wiederkehrender Weise, wie die blofse Bewegung des

Auges, daher die Uebung in Bezug auf die Vergleichung von Objecten ni übereinstimmender Lage natürlich sehr mangelhaft bleibt.

Bei einer unsicheren Wahrnehmung wird nun unser Urtheil auch lei durch andere Motive, die darauf Einflufs haben, irre geleitet. Wir wer sehen, dafs die Täuschung über die Gröfse der rechten Winkel in ei ganz besonderen Beziehung zum zweiäugigen Sehen steht und deshalb verschiedenen normalsichtigen Individuen auch in ziemlich übereinstimmen Gröfse wiederkehrt. Die Täuschung, durch welche uns verticale Linien grofs erscheinen im Vergleich zu horizontalen, zeigt dagegen sehr gr Differenzen bei verschiedenen Individuen, und hier finde ich auch bei selbst das Urtheil sehr wechselnd und sehr unsicher. Dabei mag viellei von Einflufs sein, dafs die meisten Figuren der Art, gegen welche wir uns Stellung so wechseln, oder deren Stellung gegen uns wir so wechseln las können, dafs ihre verschieden gerichteten Linien und Winkel sich nach e ander auf denselben Netzhautparthien abbilden, solche sind, die auf d Fufsboden gezogen sind, oder auf ebenen Tafeln, die wir, wie unsere Büc so in der Hand halten, dafs ihr unteres Ende dem Auge näher ist, als obere. Warum wir diese Haltung wählen, wird sich in der Lehre v Horopter zeigen. Bei solcher Lage der Linien erscheinen aber in der T verticale Linien immer in perspectivischer Verkürzung, und wir kön dadurch geneigt werden, sie immer für länger zu halten, als sie ihrer sche baren Gröfse nach sind.

Uebrigens ist ferner ersichtlich, dafs wenn einmal durch irgend wel Motive festgestellt ist, welcher Meridian für senkrecht gehalten werden s und welches Längenverhältnifs verticaler und horizontaler Linien gleich Einheit erscheinen soll, dafs dann auch die scheinbare Lage jedes ande Punktes im Sehfelde bestimmt ist.

560 Wenn wir uns hierbei beschränken auf den mittleren Theil des S feldes, welcher annähernd als Ebene betrachtet werden kann, so kön wir uns die geometrische Lage der Punkte durch rechtwinkelige Coordina gegeben denken. Es sei in *Fig. 214* AB die dem Netzhauthorizont e sprechende Horizontale, CA e Verticale, A der Blickpunkt. D entspreche die scheinbare Lage Sehfelde ab für den Netzha horizont, ac für den vertica Meridian. Es sei der Punkt im geometrischen Sehfelde stehend um zwei Längeneinhei von der Axe AB, um drei von Axe AC. Tragen wir auf ab d

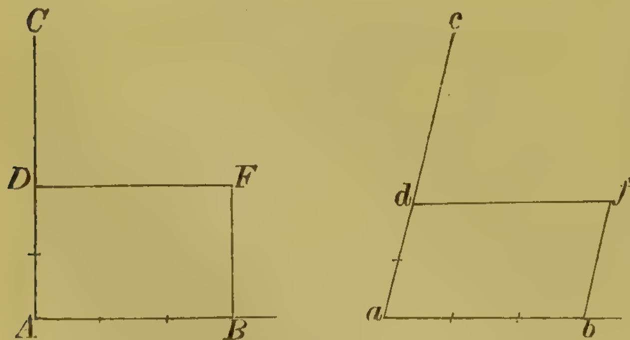


Fig. 214.

Längeneinheiten ab gleich denen von AB, und auf ac die Linie ad, welc zwei Längeneinheiten von AC gleich lang erscheint, und vervollst digen das Parallelogramm $abdf$, so ist f die scheinbare Lage von F, de

Construction gemäfs müssen alle einzelnen Linienstücke und Winkel der den Figuren einander gleich erscheinen.

Die scheinbare Lage der Punkte im mittleren, scharf gesehenen Theile Sehfeldes, welchen wir als Ebene betrachten können, wird also nach der getragenen Theorie, wie es auch in der That der Fall ist, aus der geotrischen hergeleitet werden, wenn wir die Punkte aus einem rechtwinkeen Coordinatensystem in ein schiefwinkeliges mit verändertem Axenhältnifs übertragen. Indessen läfst sich auch, wie aus bekannten Sätzen analytischen Geometrie erhellt, in solchen Fällen immer eine bestimmte enrichtung eines rechtwinkeligen Systems angeben, an dem die Uebergung dadurch vorgenommen werden kann, dafs nur die der einen Axe allelen Coordinaten in einem bestimmten Verhältnisse verkürzt oder vergert werden. Die Winkel und Axenverhältnisse, welche diesen Umnungen zu Grunde zu legen sind, sind schon oben angegeben.

Ich mufs hier noch bemerken, dafs die beschriebenen thatsächlichen hältnisse nicht passen zu zwei anderen Theorien, die über die Ausmesg des Sehfeldes aufgestellt worden sind. Eine Anzahl von Physiologen sich der Annahme von J. Müller angeschlossen, dafs die Netzhaut die igkeit hätte, ihre eigenen räumlichen Dimensionen wahrzunehmen. Dann rden die tangential gerichteten Strecken nahe der Peripherie des Sehdes nicht zu grofs, wie sie es thun, sondern vielmehr zu klein erscheinen ssen, da, wie der Querschnitt des Auges *Fig. 1* (S. 5) lehrt, die zhaut gegen ihren vorderen Rand an der *Ora serrata gg* hin beträchtlich er wird, als eine um den Knotenpunkt beschriebene Halbkugel. Wie es unter dieser Annahme mit den radialen Dimensionen verhalten müfste, t sich nicht gut entscheiden, da die Brechung der Strahlen, welche sie so schiefem Einfall in Richtung zur Axe hin erleiden, und die Lage des zhautbildes nicht genau bestimmt werden können.

Eine zweite Annahme, die zur Erklärung der Ausmessung des Sehfeldes 561 raucht worden ist, ist von mehreren Physiologen aus E. H. Weber's suchen über die Empfindungskreise der Haut und der Netzhaut hereitet worden, freilich wohl kaum, wie mir scheint, im Sinne dieses Autors[1]. nach sollen die kleinsten räumlich unterscheidbaren Ausdehnungen als heiten des Flächenmaafses benutzt werden. Räumliche Trennung zweier drücke kann, wie schon auf Seite 256 erörtert wurde, nur wahrommen werden, wenn zwischen zwei erregten Flächenelementen ein nicht egtes oder anders erregtes übrigbleibt und wahrgenommen werden kann. Gröfse der kleinsten unterscheidbaren Flächenelemente ist nun an veriedenen Theilen der Netzhaut sowohl, wie aufser Weber auch Aubert Förster erwiesen haben, als auch an verschiedenen Stellen der Haut r verschieden, so dafs die Entfernung der erregten Punkte an verschieen Theilen sehr verschieden grofs gewählt werden mufs, wenn man sie

[1] E. H. Weber über den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge. *Berichte Sächs. Ges.* 1852, S. 85–164.

als zwei unterscheiden soll. Setzt man also zwei Zirkelspitzen auf e Stelle der Haut, wo ihre Distanz kleiner als die kleinsten unterscheidba Entfernungen ist, so verschmelzen ihre Eindrücke in einen, man glaubt mit einer Spitze berührt zu sein. Setzt man sie auf eine Stelle auf, ihre gesonderte Unterscheidung nur undeutlich erfolgt, so ist man allerd geneigt, sie für näher zu halten, als sie wirklich sind; setzt man sie end an feiner unterscheidenden Theilen auf, wo ihre Trennung leicht erka wird, so erkennt man, wie ich wenigstens finde, richtig ihre wahre Dist So erscheinen mir also zum Beispiel Zirkelspitzen von vier Linien Dis an der Zungenspitze, an der Fingerspitze, an den Lippen in gleicher E fernung von einander, obgleich an der Zunge ein Abstand von $^1/_2$ L unterschieden wird, an der Fingerspitze dagegen nur einer von 1, an Lippen von 2 Linien. Dagegen am Kinn und unterhalb des Kinnes, wo Unterscheidung der Spitzen bei der genannten Distanz schwierig und unsic wird, erscheinen sie mir, wenn ich sie unterscheide, wohl etwas näher sammengerückt zu sein, als sie wirklich sind, nach dem allgemeinen Ges des Empfindens, wonach deutlich wahrnehmbare Unterschiede gröfser scheinen als undeutlich wahrnehmbare. Aber doch scheinen sie mir Halse, so lange ich sie überhaupt noch unterscheiden kann, niemals so n zu sein, als wenn ich die Spitzen eine halbe Linie oder eine Linie einander entfernt, an die Zungenspitze ansetze. Die kleinsten untersch baren Gröfsen erscheinen also keineswegs an allen Stellen der Haut gl grofs, sondern sie erscheinen sehr verschieden grofs.

Ebenso verhält es sich auf der Netzhaut. Wenn ich zwei kleine schw Kreise von 2 Millimeter Durchmesser und ebensoviel gegenseitigem Abs im indirecten Sehen betrachte, und eine Stelle suche, wo sie zuerst mir fangen sichtbar zu werden, so erscheinen sie mir dort keineswegs näher einanderzustehen, als sie wirklich sind, und jedenfalls nicht im entfernte so nahe, als zwei mit dem Centrum der Netzhaut fixirte Punkte, die an Grenze der Unterscheidbarkeit sind.

562 Ich glaube deshalb, dafs es eine unzulässige Erweiterung der Weber's Theorie von den Empfindungskreisen ist, wenn man diesen Kreisen üb dieselbe scheinbare Gröfse zuschreiben und sie als elementare Maafseinhe der Raumabmessungen benutzen will. Für das Auge würde aus einer sol Annahme in der That auch folgen, dafs die ganze Peripherie des Sehfe in allen Dimensionen relativ viel kleiner erscheinen müfste, als Obj gleicher Winkelgröfse in der Mitte des Sehfeldes. Wir haben im Gegen gesehen, dafs die tangentialen Richtungen vergröfsert erscheinen; die radi allerdings, wenigstens am oberen und unteren Rande des Sehfeldes kleinert.

Damit steht es keineswegs in Widerspruch, dafs bei der Ausmess sehr kleiner Abstände, für deren Beurtheilung das mittels der Au bewegungen ausgebildete Augenmaafs nicht genau genug ist, die Empfindu kreise, wie schon oben bemerkt wurde, benutzt werden. Wir kommen

se Fragen übrigens bei den Phänomenen des blinden Flecks weiter unten ch einmal zurück.

Aufser den hier beschriebenen allgemeinen Täuschungen über die Gröfsen-rhältnisse des Sehfeldes, welche vom Gesetz der Augenbewegungen und n der Art, wie wir unser Sehfeld kennen lernen, abhängig sind, giebt es ch eine Reihe von Täuschungen, welche von besonderen Eigenthümlich-iten der betrachteten Figuren abhängen, aber auch interessant sind, weil mehr oder weniger deutlich die Motive kennen lehren, denen wir bei der hätzung der Gröfse und Formen im Sehfelde folgen.

Man kann die hier in Betracht kommenden Phänomene meist auf die on bei den Contrasterscheinungen aufgestellte Regel zurückführen, dafs itlich zu erkennende Unterschiede bei allen Sinneswahrnehmungen gröfser cheinen, als undeutlich zu erkennende Unterschiede von gleicher objectiver öfse. Eine erste Folge davon ist, dafs wir eine getheilte Raumgröfse ht für gröfser halten, als eine ungetheilte, weil die directe Wahrnehmung Theile uns deutlicher erkennen läfst, dafs die betreffende Gröfse so und so grofse Theile enthalte, als wenn die Theile nicht erkennbar ab-eichnet sind. So wird man in der nebenstehenden Linie *Fig. 215* leicht Stück *ab* gleich *bc* halten, obgleich in That *ab* gröfser ist als *bc*. Eine Reihe Messungen über diese Art der Täu-ung ist von A. Kundt[1] ausgeführt worden.



Fig. 215.

blickte nach 5 stählernen Spitzen *A, B, C, D, E,* die hinter einem Schirme hervorragten, dafs die Entfernung $AB = 20{,}2$ Mm., $BC = 40{,}2$ Mm., $= 241{,}9$ Mm. war. Die Spitze *D* wurde nach dem Augenmaafse in die te eingestellt. Wäre sie wirklich in der Mitte gewesen, so hätte die ernung *CD* betragen müssen 60,55 Mm. Sie wurde aber im Mittel 120 Versuchen eines Beobachters gemacht gleich 57,87 Mm., so dafs scheinbare Mitte um 2,68 Mm. nach der Seite der Spitzen *A*, *B* und *C* von Mitte hin entfernt lag. Bei einem anderen Beobachter ergab sich im el aus 120 Versuchen die Abweichung gleich 3,95 Mm. Die Ent- 563
ung der Spitze *D* vom Knotenpunkte des Auges betrug in allen Fällen Mm.

Zu bemerken ist, wie bei diesen Versuchen sich herausstellte, dafs das te Auge die rechte Hälfte einer zu halbirenden Distanz gröfser zu machen t, das linke Auge die linke Hälfte. Der erste Beobachter machte die gebrauchten Auge entsprechende Hälfte um 2,24 Mm., der zweite um Mm. gröfser als die andere.

Bei den beschriebenen Versuchen werden Distanzen verglichen, welche denselben Netzhautpunkten zur Deckung gebracht werden können. Viel llender werden die Täuschungen, wenn die zu vergleichenden Distanzen hiedene Richtung haben.

---

[1] A. Kundt, *Poggendorff's Annalen* CXX. S. 118.

Man betrachte *Fig. 216 A* und *B;* die beiden liniirten Flächen sind ric





Fig. 216.

gezeichnete Quadrate. Beide soll höher als breit erscheinen der o besprochenen Täuschung gemäfs.] ist bei *A* auch in übertriebenem Ma der Fall; *B* sieht umgekehrt breit aus.

Dasselbe gilt für Winkel; ı betrachte *Fig. 217*. Die Winkel *1, 2, 3, 4* sind rechte Winkel, und soll mit beiden Augen gleichzeitig betrachtet, so erscheinen. Aber *1* und *2* erschei spitz, *3* und *4* stumpf; noch stärker wird die T schung, wenn man die Figur nur mit dem rech Auge betrachtet; mit dem linken gesehen, sol dagegen *1* und *2* stumpf erscheinen, wegen der o erwähnten Abweichung des verticalen Meridians; erscheinen aber nur etwa als rechte, in ihrer wah Form. Dreht man die Figur, dafs *2* und *3* n unten sehen, so erscheint im Gegentheil *1* un dem linken Auge übertrieben spitz, dem rech richtig. Es erscheinen die getheilten Winkel verhältnifsmäfsig immer gröfser, als sie ohne Theilung erscheinen würden.

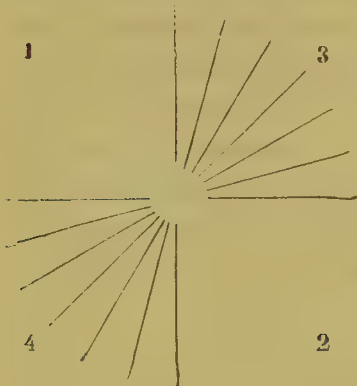


Fig. 217.

Die *Fig. 218* zeigt zwei gleichseitige Dreiecke; *A*, was horizontal getl ist, erscheint viel zu hoch, wie es auch ohne die Liniirung der Fall s würde. In *B* dagegen erscheint der Wi rechts an der Grundlinie gröfser als links und die Spitze des Dreiecks r rechts herübergerückt. Derselbe] flufs zeigt sich bei vielen aus dem wöhnlichen Leben bekannten Beispie Ein leeres Zimmer sieht kleiner aus ein möblirtes, eine mit einem Tapetenmuster bedeckte Wand gröfser als einfarbig angestrichene. Damenkleider mit Querstrichen lassen die F höher erscheinen. Ein bekannter gesellschaftlicher Scherz ist es, dafs ı
564 Jemandem einen cylindrischen Herrnhut zeigt und ihn auffordert, an Wand vom Fufsboden ab anzuzeigen, wie hoch der Hut sei. Er macht in der Regel anderthalb Mal zu hoch.



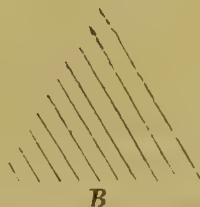


Fig. 218.

Hierher möchte auch eine von Bravais[1] beobachtete Thatsache gehö Er berichtet: Wenn ein Beobachter, der sich auf dem Meere in e gewissen Entfernung von einer Küste befindet, welche grofse Unregelmäl keiten des Terrains darbietet, dieselbe so zeichnet, wie sie dem A erscheint, so findet er durch vergleichende mathematische Ermittlung,

---

[1] Fechner, *Centralblatt*, 374—379; 558—561.

der so erhaltenen Zeichnung die horizontalen Lineargröfsen nach den hörigen Verhältnissen unter einander, die verticalen Winkeldistanzen aber ch einem doppelten Maafsstabe geschätzt sind. Diese Täuschung, der man willkürlich bei dieser Art Schätzungen unterliegt, ist nicht individuell, wie n glauben könnte, vielmehr beweisen zahlreiche Beobachtungen ihre Allneinheit. An diese Fälle schliefsen sich verschiedene in neuerer Zeit kannt gemachte optische Täuschungen an.

Man betrachte *Fig. 219 A.* Nicht *d* erscheint als Fortsetzung der Linie *a*, s es in der That ist, sondern lmehr *f*, welches etwas niedriger gt. Noch auffallender ist diese aschung, wenn die Figur in inerem Mafsstabe ausgeführt ist, in *B*, wo die beiden Stücke dünnen Linien wirklich Vergerungen von einander sind, aber nt so scheinen, und in *C*, wo so scheinen, aber es nicht sind. chnet man solche Figuren wie *A*, e das Stück *d*, und betrachtet aus immer gröfserer Entfernung em nöthigenfalls die Accommoon des Auges durch Brillenser verbessert wird), so dafs sie in immer kleinerer scheinbarer Gröfse heinen, so findet man, dafs man *f* immer weiter herunterrücken mufs, it es als Verlängerung von *a* erscheine, je ferner und scheinbar kleiner Figur ist.

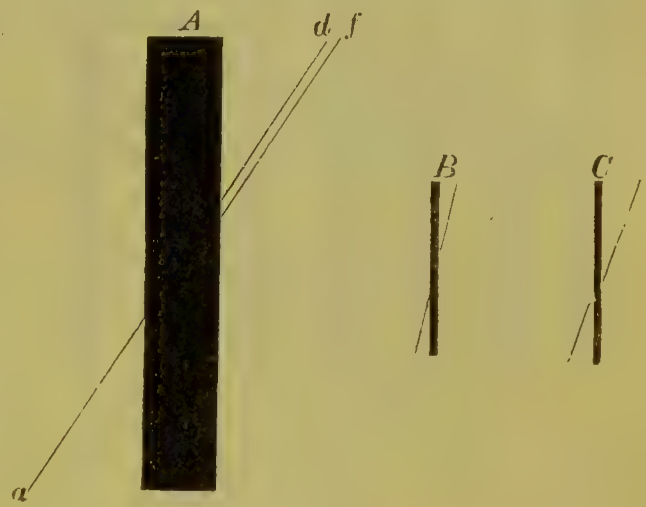


Fig. 219.

Macht man die dünnen Linien sehr lang, wie in *Fig. 220 A*, so wird bemerken, dafs sie in der Nähe der breiteren arzen Linie so eingebogen erscheinen, wie ich s übertrieben in *B* gezeichnet habe, dafs die rnteren Enden der dünnen Linie allerdings richtig als Verlängerungen von einander ernen, und dafs nur durch jene Einbiegungen er Nähe der sie schneidenden starken Linie Schein entsteht, als träfen sie nicht auf nder.

Es sind dies nun gerade die Erscheinungen, ne in diesem Falle die Irradiation hervoren mufs, und es ist schwer zu scheiden, ihr angehört und was etwa noch daran durch e Umstände, wie sie theils schon erwähnt 565 theils bei den folgenden Täuschungen noch nnt werden sollen, bewirkt wird. Dafs auch

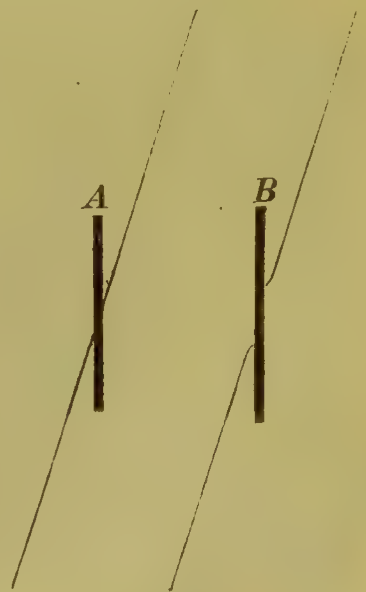


Fig. 220.

Irradiation von schwarzen Linien auf weifsem Grunde vorkommt, schon oben S. 398—400 erörtert worden. Nahe dem Scheitel der bei spitzen Winkel treffen die Zerstreuungskreise der beiden schwarzen Li zusammen und verstärken sich gegenseitig; dadurch rückt das Maximum Dunkels in dem Netzhautbilde der schmalen Linie dem breiten Stre näher und sie erscheint gegen diesen hingelenkt. Bei den in gröfse Maafsstabe gezeichneten Figuren derselben Art, wie *Fig. 219 A*, k indessen kaum Irradiation der einzige Grund sein.

Die *Fig. 221 A* und *B* zeigt Beispiele, welche von Hering angege wurden; die geraden und parallelen Linien *a b* und *c d* erscheinen in *A* n aufsen, in *B* nach innen gebrochen.

Am auffallendsten aber ist das in *Fig. 222* gegebene, von Zoellner v öffentlichte Beispiel. Die verticalen schwarzen Streifen der letzteren Figur s

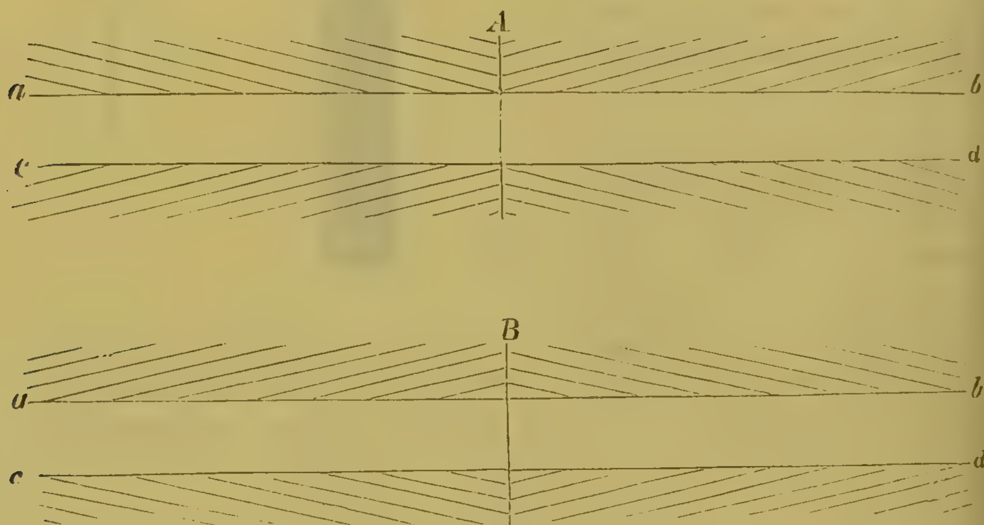


Fig. 221.

einander parallel, erscheinen aber convergent und divergent, so dafs immer in entgegengesetzter Richtung von der Verticalen abzuweichen schei als die kurzen schrägen Striche, von denen sie geschnitten werden. D sind die Hälften der schrägen Striche so gegen einander verschoben, wie Hälften der schmalen Linien in *Fig. 219.* Dreht man die Zeichnung dafs die breiten Verticalstriche unter 45° gegen den Horizont gen erscheinen, so wird die scheinbare Convergenz auffallender, dagegen scheinbare Verschiebung der Hälften der dann horizontal und vertical liegen Querstriche weniger auffallend. Die verticalen und horizontalen Li werden also im Ganzen weniger in ihrer Richtung verändert, als die sch durch das Gesichtsfeld laufenden.

566 Diese zuletzt beschriebenen Täuschungen kann man betrachten als n Beispiele für die oben gegebene Regel, dafs spitze Winkel, als deutlich gegrenzte kleine Gröfsen, in der Regel verhältnifsmäfsig zu grofs erschein wenn wir sie mit stumpfen oder rechten ungetheilten Winkeln v

eichen. Wenn nun die scheinbare Vergröfserung eines spitzen Winkels so schieht, dafs seine beiden Schenkel scheinbar nach aufsen rücken, so müssen Täuschungen in den *Fig. 219*, 21 und *222* eintreten. In *Fig. 219* irden sich die dünnen Linien dabei neinbar um den Punkt drehen, wo in den dicken Streifen eintreten d dann nicht mehr in gegentiger Verlängerung liegen. In *g. 221* werden die beiden Hälften ler der beiden geraden Linien mer scheinbar so verstellt, dafs h die spitzen Winkel, die sie den schrägen Linien machen, gröfsern. Dasselbe geschieht einbar mit den Verticalstreifen *Fig. 222*.

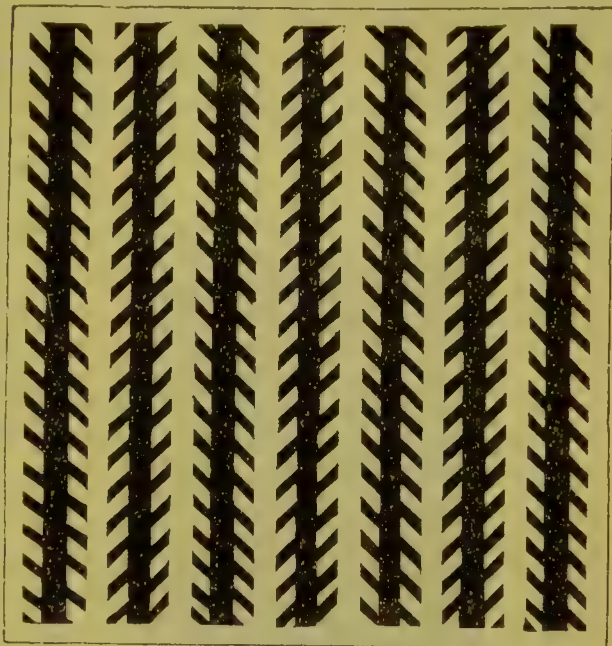


Fig. 222.

Indessen ist in den Fällen von *g. 221* und *222* die angegebene sache unter gewöhnlichen Vertnissen nur an einem kleinen Theile der Wirkung Schuld; und der fsere Theil der Wirkung hängt, wie ich gefunden habe, von Bewegungen Augen ab. Die genannten Täuschungen schwinden nähmlich ganz, r bleiben nur in schwachen Resten bestehen, wenn ich einen Punkt Zeichnungen so fixire, wie es nöthig sein würde, um ein Nachbild zu wickeln, und wenn es gelingt, ein scharf gezeichnetes Nachbild zu alten, was namentlich für das Zoellnersche Muster *Fig. 222* möglich so ist in dem Nachbilde keine Spur der Täuschung mehr zu erkennen.

In *Fig. 219* hat Bewegung des Blicks keinen deutlichen Einflufs auf stärkung der Täuschung, im Gegentheile verschwindet diese, wenn ich der nen Linie *a d* mit dem Blicke folge. Dagegen verschwindet die Täuschung gekehrt durch Fixation verhältnismäfsig leicht bei *Fig. 221*, schwerer bei *222*. Doch kann ich sie auch bei dieser letztern Figur beseitigen, wenn fest fixire und nicht die schwarzen Streifen als Objecte, die auf weifsem nde liegen, betrachte, sondern die weifsen Streifen gleichsam als Zweige mit derblättchen, die auf schwarzem Grunde liegen, aufzufassen suche. Sobald dies gelingt, sehe ich alles richtig. So wie ich dann aber anfange, den Blick die Zeichnungen hin zu bewegen, ist die Täuschung in voller Stärke wieder da.

Auch gelingt es bei diesen Figuren die Täuschung ganz oder fast ganz vermeiden, wenn man sie zuerst mit einem undurchsichtigen Papiere eckt, über dieses eine Nadelspitze als Fixationspunkt unbeweglich hinhält, 567
während man diese ganz scharf und sicher fixirt, das bedeckende Papier chen ihr und der Zeichnung fortzieht. Ob man gut fixirt hat, kann man der Schärfe des dabei ausgebildeten Nachbildes beurtheilen.

Die sicherste und leichteste Methode, den Einfluſs der Augenbewegun zu beseitigen, ist die Beleuchtung mittels des elektrischen Funkens, v während der auſserordentlich kurzen Dauer eines solchen Funkens Auge keine merkliche Bewegung ausführen kann. Dazu benutze ich ei hölzernen innen schwarz angestrichenen Kasten *A B C D*, *Fig. 223.* *f* in der vorderen und bei *g* in der hinteren Wand waren in der Entfern der Augen von einander je zwei Löch eingebohrt worden. Durch die Löc *f* blickte der Beobachter hinein, die Löcher *g* wurden innen die Zei nungen befestigt, welche selbst einem Nadelstich durchbohrt war der auch ohne die elektrische E ladung in dem übrigens ganz dunk Kasten gesehen und fixirt wer konnte. An seiner untern Seite, die der Tischplatte *B D* ruht, ist der Kas offen; wenn man die Zeichnung wechs will, kehrt man ihn um und gr hinein. Das Zimmer wurde mäſ dunkel gemacht, so daſs der Beobach die elektrischen Apparate noch se und handhaben konnte, daſs aber doch im Innern des Kastens nichts auſ jenen Nadelstichen sichtbar war. Die Drähte, welche zur Zuleitung Elektricität dienen, sind *hi*, bei *k* ist die Unterbrechungsstelle; *l* ist Kartenstreifen, der auf der dem Funken zugekehrten Seite weiſs ist das Licht desselben vom Auge des Beobachters abhält, es dagegen nach Zeichnung hinwirft. Die Funken wurden durch die secundäre Spirale ei groſsen Inductionsapparates von Ruhmkorff, die mit den Belegen ei Leydener Flasche verbunden war, gegeben. Den Schluſs der primä Spirale und deren Unterbrechung brachte der Beobachter mit der Ha hervor.[2]

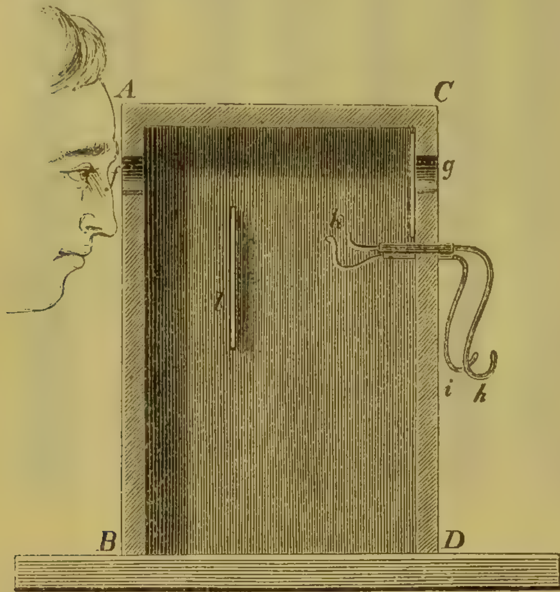


Fig. 223.

Es fand sich, daſs bei elektrischer Beleuchtung die Täuschung bei *Fig. 219* unverändert blieb, dagegen bei den Zeichnungen der *Fig. 221* ga schwand, bei *222* nicht immer ganz fehlte, aber, falls sie eintrat, schwächer und zweifelhafter war, als sonst, während doch andererseits Beleuchtung durch den elektrischen Funken vollkommen genügend war, die Formen der gerade gesehenen Gegenstände deutlich zu erkennen.

Es sind also zwei verschiedene Erscheinungen zu erklären, nämli erstens der geringere Grad der Täuschung, der bei Vermeidung der Auge

---

[1] Je zwei Löcher, weil der Apparat namentlich auch für stereoskopische Versuche gebrau werden sollte.

[2] Beim Mangel hinreichend starker elektrischer Apparate kann das von Volkmann construi Tachistoskop dienen (*Leipz. Sitzungsb.* 1850, p. 90–98), auf welchem ein fallender Schieber für ei Moment die eine oder zwei Oeffnungen öffnet, durch die der Beobachter blickt.

wegungen eintreten kann, und zweitens die Verstärkung der Täuschung 568
rch Bewegung des Auges. In ersterer Beziehung genügt, wie ich glaube, s Gesetz des Contrastes, wonach ein deutlich wahrnehmbarer Unterschied öſser erscheint, als ein weniger deutlich wahrnehmbarer. Am deutlichsten hrnehmbar ist im indirecten Sehen die Uebereinstimmung der Richtung eichartiger Raumgröſsen. Die Abweichung des Schenkels eines spitzen er stumpfen Winkels von der Richtung des anderen Schenkels im Schnitt-nkt wird deutlicher wahrgenommen, als die Abweichung desselben Schenkels n dem nicht gezeichneten Loth, welches auf dem anderen Schenkel senkrecht ht. Somit erscheint der Unterschied eines Winkels von 0° oder 180° ativ zu groſs gegen den von 90°; ein spitzer Winkel also zu groſs, ein mpfer zu klein. Indem diese scheinbare Vergröſserung der Winkel auf de Schenkel vertheilt wird, entstehen die scheinbaren Verschiebungen l Richtungsänderungen der Schenkel. Scheinbare Verschiebungen der ien, wobei sie ihrer wirklichen Richtung parallel bleiben, werden schwer rigirt, daher die Täuschung der *Fig. 219* verhältniſsmäſsig am hart-kigsten ist. Richtungsänderungen dagegen können durch eine genauere rachtung der Figur leichter erkannt werden, wenn dadurch scheinbare htübereinstimmung zwischen übereinstimmenden Linien hervorgebracht rden ist, und nur dadurch, daſs in *Fig. 221* und *222* die übereinstimmenden ien, welche verändert erscheinen, durch die groſse Zahl kreuzender schräger ien einander im Anblick unähnlich gemacht werden, ist es wohl überhaupt glich, daſs ihre Uebereinstimmung übersehen werden kann.

Jetzt haben wir noch den Einfluſs der Bewegung auf die scheinbare htung gesehener Linien zu untersuchen. Einfache Versuche zeigen, daſs bst bei einfachen geraden Linien ein solcher Einfluſs besteht, wenn die htung der Bewegung unter einem spitzen Winkel gegen die Richtung Linie geneigt ist. Da wir eine überwiegende Neigung haben, bei den wegungen unseres Auges der Richtung der hervorstechenderen Linien des ichtsfeldes zu folgen, so ist es bei diesen Versuchen nöthig, den Blick-kt im Blickfelde so, wie man es beabsichtigt, zu führen mittels einer ze, die man fortdauernd fixirt und über die betreffende Zeichnung hin-ten läſst.

Man ziehe auf einem Papier eine lange gerade Linie *A* und bewege Spitze, welche man fixirt, in Richtung einer zweiten geraden Linie *B*, he die erste unter einem sehr kleinen Winkel schneidet. Die zweite de Linie braucht nicht gezeichnet zu sein; doch schadet es auch nicht, n sie wirklich sichtbar gezogen wird. Wenn man der bewegten Spitze dem Blicke folgt, so scheint dabei die gerade Linie *A* auf dem Papier Bewegung gegen die Nadelspitze hin oder von ihr weg zu machen, je dem sich die Nadel ihr nähert oder von ihr entfernt. Das Bild der *A* verschiebt sich dabei auf der Netzhaut theils parallel sich selbst, s in Richtung der Breite. Die erstere Bewegung wird wenig oder gar bemerkt, wenn die Linie lang ist und keine deutlich gezeichneten

Merkpunkte besitzt; die zweite Bewegung senkrecht zu ihrer Länge w dagegen desto deutlicher bemerkt.

Dabei scheint auch die Richtung der Linie *A* verändert, und zwar
569 dafs der Winkel, den sie mit der Linie *B* macht, in der sich die Spi bewegt, vergröfsert erscheint. Das letztere erkennt man am besten, we man eine gerade Linie *ab*, *Fig. 224*, zieht, und eine Spitze eines Zirk

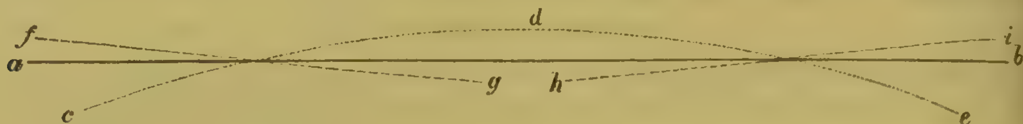


Fig. 224.

so auf das Papier aufsetzt, dafs die andere sich in dem Bogen *c d e* h und herbewegen kann. Wenn man dann dieser beweglichen Spitze mit d Auge folgt, so scheint die Linie *a b* sich abwärts zu bewegen, so lange m die Zirkelspitze von *c* nach *d* gehen läfst, aufwärts, wenn sie von *d* na *e* geht. Gleichzeitig erhält die ganze Linie *a b* scheinbar eine Richtu wie *f g*, so lange sich der Blick des Beobachters der Spitze folgend läı *c d* bewegt, und eine Richtung wie *h i*, wenn er sich zwischen *d* un bewegt. Während man bei der Bewegung von *c* nach *e* durch den höchs Theil des Bogens bei *d* hindurchgeht, verändert die Linie *a b* deutlich i Richtung.

Wenn man nun über das Zoellner'sche Muster horizontal von rec nach links eine Nadelspitze führt und ihr mit dem Blicke folgt, so kon die Figur in die seltsamste Unruhe; der erste, dritte, fünfte schwa Streifen steigen aufwärts, der zweite, vierte, sechste abwärts; oder u gekehrt, wenn die Richtung der Bewegung umgekehrt wird. Dabei erschei die aufwärtssteigenden den abwärtssteigenden nicht parallel, sondern th gegen einander, theils auch gegen die Ebene der Zeichnung in entgeg gesetzter Weise geneigt, und zwar neigen sich die aufwärtssteigenden ı ihrem oberen Ende der Richtung, in der die Nadelspitze bewegt wird, e gegen, die abwärtssteigenden mit demselben Ende dagegen im Sinne genannten Richtung, so dafs also in besonders auffallender Weise währ dieser Scheinbewegung die eigenthümliche Täuschung durch die beschrieb Figur zum Vorschein kommt.

Um die Scheinbewegung recht deutlich zu sehen, mufs man eine mittl Geschwindigkeit mit der Nadelspitze einhalten, die weder zu grofs noch klein sein darf, und mufs den Blick ganz fest an die Nadelspitze heft Wenn es nicht gleich gelingt, kann man auch die Nadelspitze fest stel und fest betrachten und hinter ihr die Zeichnung vorbeiziehen. Die Ursa der Scheinbewegung ist offenbar dieselbe, wie bei dem oben beschriebe Versuche mit der einzelnen geraden Linie. Wir nähern uns in geneig Richtung den schrägen Querstrichen und diese scheinen sich deshalb bewegen; sie nehmen dabei die verticalen schwarzen Streifen, mit denen verschmolzen sind, gleichsam mit. Wenn nun der schwarze verticale Streif

n wir uns nähern, dabei eine verticale Bewegung zeigt nach aufwärts, so dies eine ähnliche Erscheinung, als wir haben würden, wenn wir uns i nicht in senkrechter Richtung näherten, sondern unter einem spitzen nkel, dessen Spitze nach abwärts sieht, und umgekehrt bei den abwärts-igenden Streifen ist die Scheinbewegung dieselbe, als wenn wir uns ihnen erten unter einem spitzen Winkel, dessen Spitze nach aufwärts sieht. nun aber die Richtung der wirklichen Bewegung unseres Blicks für alle 570
eifen dieselbe ist, so erscheinen uns umgekehrt die Streifen gegen die vegungslinie des Blicks geneigt, die aufsteigenden mit dem oberen Ende Richtung dieser Bewegung entgegen, die absteigenden ihr folgend, wie *Fig. 225* angezeichnet ist, wo *a b* die Richtung bezeichnen soll, in der i der Blick bewegt, *c c*, *d d*, *f f* die scheinbare Lage der ticalen Streifen in übertrie-ler Divergenz, und die Pfeile en diesen letzteren Linien Richtung, in der sich so tellte Linien scheinbar be-ten würden, wenn der Blick Richtung der horizontalen ile fortgleitet.

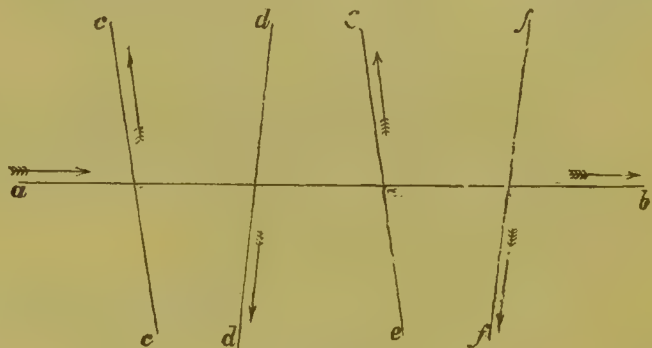


Fig. 225.

Macht man die Bewegung Spitze, der das Auge folgt, allmählich langsamer, so wird auch die Schein-vegung langsamer, wird leichter übersehen, kann aber bei einiger Auf-ksamkeit erkannt werden, und gleichzeitig finde ich, dafs die scheinbare ergenz der verticalen Streifen sich weniger bestimmt zeigt. Ohne Hilfe r leitenden Spitze kommt weder die Scheinbewegung der Streifen noch scheinbare Divergenz so schön zum Vorschein, wie mit einer solchen, rscheinlich weil wir unseren Blick über eine Zeichnung mit so hervor-enden Liniensystemen nicht so gleichmäfsig und so geradlinig hingleiten en können. Da übrigens die Täuschung über die Richtung der Streifen der über ihre Bewegung gleichzeitig wächst und fällt, so zweifle ich t, dafs auch die Verstärkung der Täuschung bei den gewöhnlichen vegungen des Blicks dieselbe Ursache habe.

Führt man die fixirte Nadelspitze parallel den verticalen Streifen über Zeichnung, so wird die Täuschung nicht nur nicht verstärkt, sondern r geschwächt oder ganz beseitigt. Die verticalen Streifen zeigen sich n als parallele Richtlinien im Blickfelde dadurch, dafs ihre Netzhautbilder in sich selbst verschieben.

Der hier beschriebene Einflufs der Scheinbewegung der verticalen eifen auf die scheinbare Gröfse des Winkels zwischen ihnen und der vegungsrichtung des Blicks läfst sich übrigens ganz ebenso an einem klich bewegten Körper zeigen. Man lege einen mit Theilstrichen ver-enen Maafsstab in horizontaler Richtung auf ein Blatt Papier, setze dicht

neben ihm die eine Spitze eines weit geöffneten Zirkels ein und bew die andre nahe über der Kante des Maafsstabes hin und her; sie wird s dabei genau normal zur Richtung des Maafsstabes bewegen. Jetzt bew man auch den Maafsstab in seiner eigenen Richtung hin und her, so w die Bewegungslinie der Zirkelspitze durchaus nicht mehr senkrecht Richtung des Maafsstabes, sondern sehr stark geneigt gegen diese erschein wie sie sich denn in der That in einem am Maafsstabe festen Coordinat system wirklich als geneigt darstellen würde, während sie, auf ein abs
571 festes Coordinatensystem bezogen, senkrecht zur Kante des Maafsstabes ble Die Veränderung des Winkels ist übrigens in diesem Falle viel bedeuten als an der ZOELLNER'schen Figur, weil bei dieser die scheinbare Lag veränderung nie so weit gehen kann, dafs die verschobenen Streifen ge einander stofsen oder gar sich kreuzen, was dem Bilde des indirecten Seh zu sehr widersprechen würde.

Die HERING'schen Beispiele, *Fig. 221*, bieten dieselben Verhältnisse in weniger auffallendem Grade. Die Täuschung wird bei ihnen verstä durch Bewegungen des Blicks zwischen oben und unten, geschwächt du solche von rechts nach links.

Es kann vielleicht auffallen, dafs ich zweierlei anscheinend so v schiedene Ursachen zur Erzeugung derselben Täuschungen zusammenwirk lasse. Wenn man sich aber erinnert, dafs nach der hier vorgetrage Ansicht die Kenntnifs der Ausmessungen des Sehfeldes im indirecten Sel auf Erinnerung an frühere bei Bewegungen gemachte Erfahrungen beru während bei bewegtem Blick neue ähnliche Eindrücke hinzukommen, ergiebt sich, dafs die beiden Ursachen nicht so verschieden sind, wie sie der Auseinandersetzung zu sein scheinen; sie sind nur unterschieden Erinnerung und gegenwärtige Anschauung analoger Verhältnisse.

Es kommt durch diese Verhältnisse eine Art Contrast für die Richtung von Linien und für die Entfernungen zu Stande von ähnlicher Wirkung, wir ihn in § 24 für die Lichtstärken und Farben kennen gelernt hab Die Unterschiede nahe gleicher Richtungen erscheinen vergröfse dadurch dafs wir eine Linie von einer oder vielen andern geneigten Lini schneiden lassen, wird sie scheinbar nach der entgegengesetzten Seite genei als jene. Die Erscheinungen des Contrastes der Lichtstärken und Farb liefsen sich mit Hilfe der Hypothese von Th. YOUNG auf die Vergleichu verschieden starker, aber qualitativ gleicher Erregungen der Fasern zurü führen. Wollte man sich die Localzeichen der Netzhautfasern als Empfindung von zwei, irgend welchen zwei Coordinatenrichtungen entsprechenden Qualität denken, deren Intensität sich continuirlich in der Fläche änderte, so würd die Contraste der Richtungen gerade auf dieselben Eigenthümlichkeiten d Unterscheidung der Empfindungsstärke zurückzuführen sein, wie die d Farben. Da es aber gelang, den Einflufs der Augenbewegungen auf dire sichtbare Erscheinungen zurückzuführen, so können wir eine solche Hypothe vorläufig auf sich beruhen lassen. Uebrigens hat auch ZOELLNER bei sein

schreibung der Täuschung an dem Muster der *Fig. 222* dieselbe auf die wegungen des Auges zurückzuführen gesucht. Ganz unzulässig erscheint r dagegen die von E. HERING gegebene Erklärung. Derselbe meint, dafs die Entfernung zweier Punkte nach der geradlinigen Entfernung ihrer den Netzhautbilder beurtheilen. Demgemäfs werden nach ihm im Allmeinen kleine Entfernungen relativ gröfser gesehen als grofse ungetheilte, il bei kleinen Bögen der Unterschied zwischen dem Bogen und der Sehne, lche die Distanz seiner Enden mifst, relativ kleiner ist, als bei grofsen. en deshalb sollen kleine Winkel stets relativ zu grofs im Vergleich zu en gröfseren Nebenwinkeln gesehen werden. Auf dasselbe Princip hat h A. KUNDT eine ausführlichere Theorie dieser Erscheinungen zu gründen *572*
ucht und Messungen in der schon oben erwähnten Weise ausgeführt, sie stützen sollen,[1] indem er ungetheilte Linien nach dem Augenmaafs heilten Linien gleich zu machen suchte. Für eine gewisse Länge der ien stimmen auch Beobachtung und Berechnung ziemlich gut überein, r bei kleineren Linien ist die Differenz fast doppelt so grofs, als sie h dem aufgestellten Erklärungsprincip sein sollte. Herr KUNDT findet nlich

Gesichtswinkel für die zu vergleichenden Distanzen	Fehler beobachtet	Fehler berechnet
20° 14′	4,40	4,62
19° 41′	3,31	4,47
12° 47′	1,48	0,84

Ich mufs hinzufügen, dafs die Täuschungen auch bei viel kleineren uren bestehen bleiben, bis die Objecte sich der Grenze des deutlichen ens nähern, und dafs bei so kleinen Objecten ein Unterschied zwischen Bogen und der Sehne nicht mehr merklich sein kann. KUNDT selbst gefunden, dafs zum Beispiel seine *Fig. 4* bis auf 9 Fufs Entfernung die schung zeigte, wobei zwischen den betreffenden Bögen und Winkeln selbst ler 5ten Decimale noch kein Unterschied vorhanden ist.

Ich halte deshalb das von HERING und KUNDT gebrauchte Erklärungscip nicht einmal für einen richtigen Ausdruck der Thatsachen. Wollte es gar als Erklärung der wirklichen Ursache der Erscheinungen aufen, so müfste man die Annahmen der natavistischen Theorie dahin ausnen, dafs uns eine Kenntnifs unserer Netzhaut, und zwar nicht nur der nlichen Anordnung der empfindenden Punkte auf ihr, sondern sogar ihrer mmung angeboren sei.

Zu erwähnen ist endlich noch, dafs in einer Reihe von Fällen die culare Körperanschauung störend auf die Vergleichung der Distanzen im chtsfelde einwirkt. Es macht sich hierbei geltend, dafs unser natürliches n Sehen von Körpern ist, und dafs alle unsere Uebung darauf abzweckt, Dimensionen und Lagen der gesehenen Körper richtig zu beurtheilen.

[1] A. KUNDT, *Poggendorff's Annalen*, 1863, CXX, 118–158.

Ich kann mit grofser Sicherheit erkennen, ob mein Zeigefinger dicker o dünner ist, als eine an dem entgegengesetzten Ende des Zimmers befindli Gasröhre, obgleich ein kolossaler Unterschied in der scheinbaren Gr beider Körper vorhanden ist. Dagegen bin ich sehr unsicher, ob n Zeigefinger, wenn ich ihn in einer bestimmten Enfernung vom Auge ha dieselbe scheinbare Gröfse hat, wie ein an der anderen Seite des Zimm befindliches Buch, oder etwa wie der Mond, vorausgesetzt, dafs ich die vergleichenden Objecte nicht im Gesichtsfelde nahe an einander bringe. finde vielmehr, dafs ich eine sehr starke Neigung habe, den Gesichtswin unter dem der Finger erscheint, für viel kleiner als den des Buches o des Mondes zu halten, bis ich beide ganz nahe zusammenbringe oder s im Gesichtsfelde decken lasse.

Damit scheint es mir auch zusammenzuhängen, dafs wir, wie die Versu
573 von Kundt zeigen, wenn wir eine horizontale Linie zu halbiren suchen, das rechte Auge deren rechte Hälfte, für das linke Auge die linke zu g zu machen pflegen. Bei einer Linie von 100 Millimeter Länge, 226 Millimeter Entfernung gesehen, verlegte das linke Auge die Mitte Durchschnitt von 40 Beobachtungen auf 50,33 Millimeter vom linken E entfernt, das rechte Auge nur 49,845 von demselben entfernt. Diese weichungen der scheinbaren von der wahren Mitte, 0,33 und 0,155 Mill betragend, sind übrigens viel kleiner als die Abweichungen der einzel Beobachtungen vom Mittel, deren mittlerer Fehler 0,50 und 0,66 betr so dafs eben nur in einer grofsen Zahl von Versuchen die genannte Abweich sichtbar wird.

Diese Abweichung kann, wie mir scheint, dadurch veranlafst sein, d wir beim binocularen Betrachten einer halbirten Linie diese symmetrisch z Kopfe vor die Mitte des Gesichts zu halten pflegen, und wir deshalb gewö sind, die rechte Hälfte mit dem rechten Auge gröfser zu sehen, die li mit dem linken.

Zum Schlufs der Beschreibung des Sehfeldes ist noch über seine Gren und Lücken zu reden. Seine Ausdehnung umfafst alle Punkte des umgebenden Raums, von denen durch die Pupille noch Licht eindringen noch auf empfindende Theile der Netzhaut fallen kann. Ausgeschlossen v Sehfelde sind diejenigen Theile des Raums, namentlich also die hinter liegenden, von denen niemals Licht auf dem normalen Wege unsere Ne haut erreichen kann. Die Fläche unseres Sehfeldes entspricht also d nach aufsen projicirten Bilde unserer Netzhaut und die Grenze des Sehfel der Grenze der Netzhaut. Wir sind uns dieser Begrenzung bewufst, wissen, dafs wir von den hinter uns liegenden Objecten durch das Gesi nichts wahrnehmen, und können bei einiger Aufmerksamkeit auf das F des indirecten Sehens angeben, welche Gegenstände an dem Rande Sehfeldes noch erscheinen, welche nicht, so weit die grofse Undeutlichk des Sehens mit den äufsersten Theilen der Netzhaut dies eben erlau Dabei ist zu bemerken, dafs in der Empfindung ein wesentlicher Unterschi

zwischen dem Theile des (verlängert gedachten) Sehfeldes, der überhaupt mals gesehen werden kann, und dem sichtbaren Theile desselben, wenn wegen Lichtmangels zeitweilig nicht gesehen wird. Bei Abschlufs alles seren Lichtes haben wir ein bestimmt begrenztes dunkles Feld vor unsern gen; wir sind uns aber wohl bewufst, dafs wir dabei den hinter uns egenen Raum nicht dunkel sehen, sondern dafs wir ihn gar nicht sehen. Empfindung des Dunkels ist die Empfindung des Ruhezustandes oder, n man will, der Mangel von Empfindung in Theilen unseres Sehnerven-arates, die erregt werden könnten, wenn ein Reiz auf sie wirkte. Ihr spricht in der Wahrnehmung die Vorstellung vor uns gelegener Theile Raums, welche unserem Auge kein Licht zusenden, was also eine timmte, wenn auch negative Aussage über den objectiven Zustand dieser ile des Raums enthält. Den nicht sichtbaren Theilen des Raums spricht aber auch kein empfindendes Organ, welches den Zustand seiner nen Ruhe bemerken und unterscheiden könnte. In der Wahrnehmung l über sie gar nichts ausgesagt, als dafs wir nichts über sie wissen, er ob sie hell, noch ob sie dunkel seien. Beides ist wohl zu unter-eiden.

Nun giebt es aber auch innerhalb der äufseren Begrenzungslinie unseres 574
feldes eine Lücke, entsprechend der für Licht unempfindlichen Eintritts-le unseres Sehnerven, wo wir nichts sehen. Die Lage und Ausdehnung er Stelle ist im Anfange von § 18 bestimmt worden; dort wurde auch iesen, dafs sie wirklich unempfindlich für Licht sei. Wir haben jetzt untersuchen, wie uns die entsprechende Stelle des Sehfeldes erscheint.

Der gewöhnliche Fall ist, dafs wir gar nicht im Stande sind zu bemerken, eine Lücke im Sehfelde sei, oder unsere Aufmerksamkeit auf das, was ler Lücke erscheinen sollte, festzuheften. Dies ist nicht nur der Fall, n die Anschauung der Objecte, welche in die Lücke fallen, ergänzt wird h die Wahrnehmungen des anderen offenen Auges, oder falls dies hlossen ist, ergänzt wird durch Bewegungen des einen geöffneten Auges, ei die Lücke ihren Platz im Gesichtsfelde stets wechselt und daher, was den Objecten in dem einen Augenblicke nicht gesehen wird, im andern nnt werden kann. Wir bemerken vielmehr auch bei festgeheftetem ke die Lücke nicht, wenn der der Lücke benachbarte Theil des Sehfeldes n gleichmäfsig erhellten und gefärbten Grund darstellt; es erscheint uns nehr dann dieser ganze Theil des Feldes ohne Unterbrechung von der e des Grundes ausgefüllt. Was für nicht gesehene Objecte sich dabei er Lücke des Sehfeldes wirklich befinden, ist natürlich ganz gleichgültig. e verschwinden eben, wie schon oben gezeigt worden ist. Es ist dabei bemerken, dafs wir überhaupt das indirecte Sehen gewöhnlich nicht itzen, um uns über die Form, Gröfse und Ordnung der in ihm gesehenen enstände Auskunft zu verschaffen, sondern dafs es hauptsächlich nur dazu t, eine Art roher Skizze von der Umgebung des fixirten Punktes, auf unsere Aufmerksamkeit gerichtet ist, zu geben und um unsere Auf-

merksamkeit jeder etwa neu auftretenden oder ungewöhnlichen Erscheinung, die im seitlichen Theile des Sehfeldes zum Vorschein kommt, sogleich zuzulenken. Ein Theil des Sehfeldes nun, der wie der blinde Fleck niemals irgend welche, also auch keine auffallende Erscheinung darbieten kann, wird daher unter gewöhnlichen Umständen niemals Gegenstand der Aufmerksamkeit. Ja ich habe gebildete und unterrichtete Leute, selbst Aerzte, gekannt, denen es nicht gelang, sich von dem Verschwinden kleiner Objecte an dieser Stelle zu überzeugen. Wenn wir dann durch physiologisch optische Versuche uns üben, Gegenstände im indirecten Sehen zu erkennen, so sind es doch zunächst nur gröfsere durch Helligkeit oder Färbung oder Bewegung von ihrer Umgebung abstechende Gegenstände, auf die wir unsere Aufmerksamkeit, ohne den Fixationspunkt zu ändern, lenken und deren Ordnung wir erkennen können. Aber unsere Aufmerksamkeit einer bestimmten, durch gar keinen sinnlichen Eindruck ausgezeichneten Stelle, wie es die Lücke des Sehfeldes ist, wenn sie auf gleichmäfsig gefärbten Grund fällt, im indirecten Sehen zuzuwenden, vermögen wir nicht.

Ich mufs hierbei jedoch bemerken, dafs ich in der letzten Zeit angefangen habe, beim Aufschlagen eines Auges gegen eine ausgedehnte weifse Fläche und bei kleinen Bewegungen des Auges oder bei eintretender
575 Accommodationsspannung den blinden Fleck als einen schattigen Fleck zu sehen, so dafs, wenn ich mit der Spitze des Zeigefingers darauf hinweise, mir die Fingerspitze verschwindet. Es ist dies eine subjective Erscheinung, welche mit den auf Seite 239 beschriebenen Erscheinungen zusammenhängt, und bald wieder schwindet, wenn man das Auge unbewegt geöffnet hält. Das ist also nur eine scheinbare, nicht eine wirkliche Ausnahme von dem Gesagten, denn dabei ist das Sehfeld subjectiv nicht einförmig erregt, sondern die Nachbarschaft des blinden Flecks durch besondere Erscheinungen ausgezeichnet, welche die Aufmerksamkeit auf diese Stelle zu fixiren im Stande sind. Dazwischen kommt es doch immer wieder vor, dafs ich ein helles Feld ansehe, ohne im Geringsten im Stande zu sein, ohne vorgängigen Versuch zu sagen, wo der blinde Fleck im Sehfelde liegt.

Anders verhält es sich, wenigstens für einen im indirecten Sehen etwas geübten Beobachter, wenn man Merkzeichen im Sehfelde anbringt, welche die Aufmerksamkeit gerade auf die Lücke hinzuleiten im Stande sind. Dazu kann man zum Beispiel sehr zweckmäfsig ein Kreuz brauchen, dessen verticaler Schenkel durch Farbe oder Helligkeit deutlich von dem

a
+

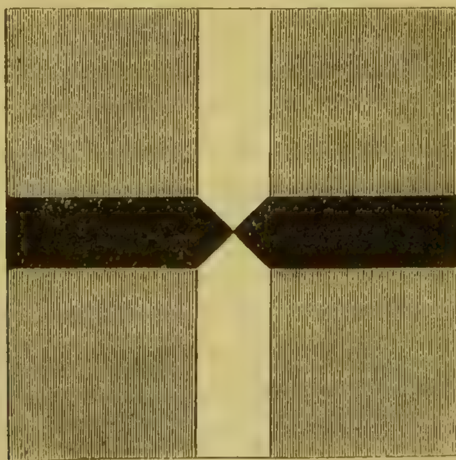


Fig. 226.

horizontalen, beide ebenso vom Grunde unterschieden sind, und deren Kreuzungsstelle vom blinden Fleck ganz überdeckt werden kann. *Fig. 226* stellt ein solches Kreuz dar. Die Marke *a* bezeichnet den Fixationspunkt. Die Zeichnung ist aus 16 Centimeter Entfernung anzusehen. Um mich zu überzeugen, dafs die Kreuzungsstelle ganz verschwindet, bedecke man sie mit einer farbigen Oblate, und wenn diese verschwunden ist, suche man bei gut fixirtem Blick zu ermitteln, ob der schwarze oder der weifse Schenkel des Kreuzes im Fixationspunkte oben auf liegt. VOLKMANN[1] und die meisten andern Beobachter, die diesen Versuch angestellt haben, glaubten bald den einen, bald den anderen Schenkel oben liegen zu sehen, öfter[2] den horizontalen, vielleicht weil der horizontale Durchmesser der Lücke geringer ist, als der verticale. Macht man aber den horizontalen Schenkel kürzer und kürzer, so überwiegt schliefslich die Farbe des vertikalen Schenkels. Ich habe selbst das früher auch so zu sehen geglaubt, seitdem ich aber durch vieles Beobachten eine gröfsere Uebung im indirecten Sehen erlangt habe, bin ich mir bei diesem Versuche ganz bestimmt bewufst, dafs ich die Kreuzungsstelle nicht wahrnehmen kann. Auch AUBERT, der einer der geübtesten Beobachter im indirecten Sehen ist, stimmt damit überein. Er sagt: „Trotz 576
vielfacher Uebung im indirecten Sehen und vielfacher Wiederholung der von WEBER, VOLKMANN und neuerdings von WITTICH angegebenen Versuche mufs ich schliefslich offen bekennen, dafs ich zu keinem Urtheile darüber kommen kann, in welcher Weise das Gesichtsfeld in dieser Stelle ausgefüllt wird. Ob ein Kreuz, welches von einer gelben und blauen Linie gebildet wird, an der Kreuzungsstelle, wenn diese auf den blinden Fleck fällt, in der einen oder anderen Farbe erscheint, weifs ich trotz hundertfacher Wiederholung des Versuches nicht anzugeben, ebenso wenig, ob zwei Parallellinien in der Mitte zusammenrücken oder nicht, oder ob eine Kreislinie, mag sie dick oder dünn sein, sich zum Kreise schliefst oder nicht.“[3]

Schwieriger ist es, die Aufmerksamkeit auf die Lücke zu richten, wenn nur eine geradlinige Contour ohne Unterbrechung durch die Lücke hinläuft. Man schiebe ein schwarzes Blatt Papier, was durch eine verticale gerade Linie begrenzt ist, von der Schläfenseite des Sehfeldes her über ein weifses Blatt hin, auf welchem man einen Punkt mit einem Auge fixirt, bis ein Theil der Grenzlinie in die Lücke des Sehfeldes fällt. Die meisten Beobachter glauben in diesem Falle die gerade Begrenzungslinie ununterbrochen fortlaufend zu sehen; aber auch in diesem Falle habe ich mich neuerdings überzeugt, dafs ich erkennen kann, wann und wo ich einen Theil der Linie nicht wahrnehme. Schiebe ich das schwarze Blatt vorwärts gegen den Fixationspunkt hin, so kann ich ganz genau den Augenblick erkennen, wo die beiden sichtbaren Enden der Begrenzungslinie zusammenschliefsen. Schwieriger ist es, deutlich zu erkennen, wann derselbe Moment beim Zurückziehen des

---

[1] A. W. VOLKMANN, *Berichte der Kön. Sächs. Ges. d. Wissenschaften*. 30. April 1853. S. 40.
[2] W. v. WITTICH, Studien über den blinden Fleck, *Archiv für Ophthalmologie* 1863. IX. 3, p. 1—31.
[3] H. AUBERT, *Physiologie der Netzhaut*. Breslau, 1865. S. 257—258.

schwarzen Blattes an der Schläfenseite des blinden Flecks eintritt, weil hie das indirecte Sehen schon viel unvollkommener ist. Wunderlich ist dabe aber charakteristisch für das Wesen der Erscheinung, dafs ich nirgends ein Lücke zwischen dem weifsen und schwarzen Felde sehe, obgleich ich erkenne dafs ich an einer Stelle die Begrenzungslinie nicht sehen kann, dafs sic zwischen das Schwarze und Weifse nichts einschiebt, und ich doch nich angeben kann, wo und wie geformt die Grenze sei. Auch kann ich nich sagen, dafs Weifs und Schwarz dort verwaschen in einander überginge denn das Grau dieses Uebergangs wäre wieder etwas bestimmt Wahrnehm bares. Ich kann es nur vergleichen mit dem Eindruck, den man hat, wen man im halben Dunkel lichtschwache Objecte zu fixiren und zu erkenne sucht und dann durch die Nachbilder einzelne Theile der Zeichnung aus gelöscht werden.

Sehr viel leichter, als bei einer geraden Linie, erkenne ich die Lücke wenn sie auf einen Theil einer Kreislinie oder auf die Peripherie eine Kreisfläche fällt; dabei kann ich auch ziemlich gut angeben, wieviel vo dem Kreise fehlt.

Habe ich im Gesichtsfelde vor mir eine grofse Zahl verschiedenartige kleiner Objecte, so bin ich im Stande, die Stelle des blinden Flecks sogleic zu erkennen an einer gewissen Unklarheit und Undeutlichkeit, wodurch si
577 sich unterscheidet. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn ich nach einer Gebüsch, einer gemusterten Tapete, einem mit Buchstaben bedruckte Blatte hinsehe.

Dem entsprechend mufs ich behaupten, dafs überhaupt keinerlei Em pfindung dem blinden Flecke entspricht, und dafs namentlich auch nicht etw irgend welche Empfindungen aus der Nachbarschaft sich auf die Lücke de Sehfeldes übertragen, sondern bei genauer Beobachtung und bei Anwendun der nöthigen Hilfe, um die Aufmerksamkeit auf den blinden Fleck hinzu lenken, kann man sich überzeugen, dafs dort die Empfindung fehlt. Ma sieht in der Lücke des Sehfeldes weder irgend etwas Helles oder Farbige oder Dunkles, man sieht hier im strengen Sinne des Wortes Nichts, un dieses Nichts kann sich nicht einmal als Lücke und Grenze des Sichtbare geltend machen; denn wenn die Lücke des sichtbaren Sehfeldes selbst sicht bar sein sollte, so müfste sie in irgend einer Qualität des Sichtbaren er scheinen, was sie nicht thut. Nur negativ können wir ihr Vorhandensei ermitteln dadurch, dafs wir beobachten, welches die letzten Objecte sind die wir noch sehen. Wenn wir dann ermitteln, dafs diese im Raume nich aneinanderstofsen, so kommen wir zur Anerkennung der Lücke und ihre räumlichen Lage und Gröfse. Da nun aber hierzu Localisirung der Gesichts eindrücke nöthig ist, und diese nach unserer Auffassung erst durch Erfah rung erworben wird, so beruht dieses Auffinden der Lücke in der That au einem Urtheil; sie wird nicht unmittelbar empfunden.

Mit der gröfseren Lücke des Gesichtsfeldes hinter unserem Rücken verhält es sich übrigens ganz ähnlich, nur dafs uns ihre Anwesenheit besser

kannt ist, als die des blinden Flecks, weil wir zu ihrer Ausfüllung zu einer Zeit sinnliche Hilfsmittel gehabt haben, während die Lücke des blinden Flecks für gewöhnlich durch die Wahrnehmungen des andern Auges und durch die Bewegungen des Blicks genügend ausgefüllt und daher nicht als Mangel fühlbar wird. Auch die Grenze des Sehfeldes können wir nur negativ bestimmen, indem wir im indirecten Sehen aufsuchen, welche Objecte noch sichtbar sind, welche nicht. Wenn wir dagegen einen einförmigen Grund herstellen, zum Beispiel das Auge nach dem innern Augenwinkel drehen und ein durchscheinendes beleuchtetes Blatt Papier vorhalten, wobei dann gegen den äufsern Augenwinkel hin nichts von den Theilen unseres Gesichts mehr sichtbar wird, sondern allein die weifse Fläche: dann ist es absolut unmöglich zu sagen, wo diese helle Fläche aufhört und wo das Nichtsehen anfängt. Wäre dagegen dort irgend ein dunkler oder farbiger Fleck auf dem Papier, so würden wir sogleich die Richtung bestimmen können, in dem wir diesen sehen. Auch hier also kann sich das nicht Sichtbare nicht als Grenze des Sichtbaren geltend machen und von ihm abheben.

Anders verhält es sich nun, wenn wir in Folge unserer Empfindungen uns Vorstellungen von den Objecten bilden. Der objective Raum und die darin enthaltenen Objecte können kein Loch haben entsprechend der Lücke unseres Sehfeldes. Wir befinden uns dann im Wesentlichen in der Lage von Jemandem, der ein beflecktes oder durchlöchertes Gemälde betrachtet und daraus sich eine Anschauung von dem zu bilden sucht, was der Maler hat darstellen wollen. Wenn hierbei ein Fleck auf irgend einen der untergeordneten Theile des Gemäldes fällt und die Ergänzung selbstverständlich ist, 578 so wird der Betrachtende den Fleck vielleicht kaum beachten, oder wenigstens in seiner Vorstellung der Objecte durch ihn gar nicht gehindert werden und in dieser Beziehung den Fleck als nicht vorhanden betrachten können. Sollte der Fleck also auf eine einförmig gefärbte Fläche oder auf eine gleichmäfsig gemusterte Fläche fallen, so wird der Beschauer ohne Weiteres sich die Lücke in seiner Vorstellung mit der Farbe des Grundes ausfüllen, er müfste denn ganz besondere Gründe haben zu vermuthen, dafs dort die Färbung oder das Muster ursprünglich abweichend gewesen sei. Und ebenso wird er die Ergänzung ohne alles Zögern und Schwanken machen, wenn der Fleck einen kleinen Theil einer geradlinigen Kante oder einer Kreisperipherie verdeckt. Erst wenn der Fleck auf wichtige Punkte des Gemäldes oder solche, deren Bedeutung nicht so ganz selbstverständlich ist, fällt, wird er die Aufmerksamkeit des Beschauers anziehen und ihn in der Vollendung seines Anschauungsbildes von den dargestellten Gegenständen stören.

Dieser Vergleich kann das Verhältnifs ungefähr klar machen; namentlich wenn man sich denkt, dafs der Fleck bei einem reichen und interessanten Gemälde auf seitlich gelegene und ganz unwichtige Nebensachen des Gemäldes fällt und nicht durch seine Farbe oder Helligkeit im Stande ist, die Aufmerksamkeit des Beobachters anzuziehen. Dann wird er möglicher Weise ebenso unentdeckt bleiben, wie die Lücke im Sehfelde es gewöhnlich

ist. Der Vergleich hinkt nur insofern, als der Fleck auf dem Gemälde etwa Sichtbares ist, auf welches die Aufmerksamkeit vollkommen leicht gefessel werden kann, wenn sie einmal darauf hingelenkt war, während die Lück des Gesichtsfeldes nicht die Qualität von etwas Sichtbarem hat und es gan gegen unsere Gewöhnung und Uebung ist, die Aufmerksamkeit im Feld des indirecten Sehens anders als auf einzelne positiv auffallende Phänomen zu richten. In beiden Fällen bilden wir uns aus den vorhandenen positive Momenten der Empfindung unsere Vorstellung von den Objecten aus, s gut es eben geht; nur dafs wir bei der Lücke des Sehfeldes sehr vie schwerer auf den Mangel des Anschauungsmaterials aufmerksam werden, al bei dem Fleck des Gemäldes. VOLKMANN sagt daher in dieser Beziehun mit Recht, dafs man die Lücke im Sehfelde durch einen Act der Einbildungs kraft ausfüllt; nur mufs man hinzufügen, dafs diesem Acte der Einbildungs kraft nicht die volle Evidenz der sinnlichen Anschauung zukommt, wen auch in diesem Falle allerdings schwerer als in anderen ähnlichen Fällen z ermitteln ist, dafs ein Mangel des sinnlichen Materials stattfindet. Eine der hübschesten Beispiele, was VOLKMANN für diese Ergänzung durch di Einbildungskraft anführt, ist, dafs wenn man die Lücke auf die bedruckt Seite eines Buches fallen läfst, man sie mit Druckschrift ausgefüllt zu sehe glaubt, welche man freilich nicht lesen kann. Aber allerdings ist diese Aus füllung nur so lange scheinbar vorhanden, bis man sich durch genauer Aufmerksamkeit überzeugt, dafs man an der betreffenden Stelle gar nicht wahrnimmt. Die Thätigkeit der Einbildungskraft geht also keineswegs s weit, dafs dadurch die fehlende sinnliche Empfindung ersetzt und vor gespiegelt würde.

Es ist nun noch zu untersuchen, wie die räumlichen Abmessungen durc das Augenmaafs für die Punkte nahe der Lücke ausfallen. In dieser Beziehun
579 fallen die Aussagen verschiedener Beobachter sehr verschieden aus. Einige wie namentlich v. WITTICH, sehen die der Lücke nächstgelegenen Object gegen die Lücke hingezogen und diese dadurch ausgefüllt, Andere, wi E. H. WEBER, VOLKMANN, ich selbst, sehen die umgebenden Theile in ihre richtigen Lagerung, abgesehen von den Verziehungen, welche die seitliche Theile des Gesichtsfeldes überhaupt erleiden. Bei wieder Anderen, wie be FUNCKE, wechselt es, so dafs sie unter etwas veränderten Umständen bal das eine sehen, bald das andere.

Die Unterschiede zeigen sich namentlich deutlich bei folgendem vo VOLKMANN erfundenen Versuche: Man setze neun Buchstaben, so wie *A* bis in *Fig. 227*, und fixire mit dem rechten Auge aus einem Abstande vo 20 Centimeter das Kreuzchen bei *k*, so wird *E* in die Lücke fallen. Die Gröfs der Lücke ist für mein Auge unter diesen Umständen durch den gestrichelte Kreis angegeben, in dessen Mitte *E* steht. Dadurch, dafs man eine klein rothe Oblate auf *E* legt und diese nach allen Seiten hin so weit vorschiebt dafs sie eben anfängt sichtbar zu werden, kann man controlliren, wi grofs die Lücke ist und ob auch keiner der anderen Buchstaben dadurc

rdeckt wird. Sehr gut läfst sich ein entsprechendes Muster auch herstellen ttels verschiedenfarbiger Oblaten, welche man an Stelle der Buchstaben hinlegt. An einem Muster, wie *Fig. 227*, sehen VOLKMANN und ich selbst die neun Buchstaben *A B C D F G H I* als Seiten eines Quadrats, in geraden Linien stehend, wie sie wirklich stehen, und die Mitte desselben leer. WITTICH dagegen sieht statt der geraden Seiten des Quadrats vier gegen die Mitte convexe Bögen *ABC*, *CFI*, *IHG*, *GDA*. FUNCKE[1] sieht sie convex wie WITTICH, wenn ine anderen geraden Linien in der Nähe sind, mit denen er ihre Form rgleichen kann, dagegen gerade gestreckt, wie VOLKMANN, wenn durch *k* er zwischen *k* und *ADG* eine verticale gerade Linie gezogen wird, oder ch, wenn die Reihe *CFI* durch ein weifses Papier verdeckt wird.

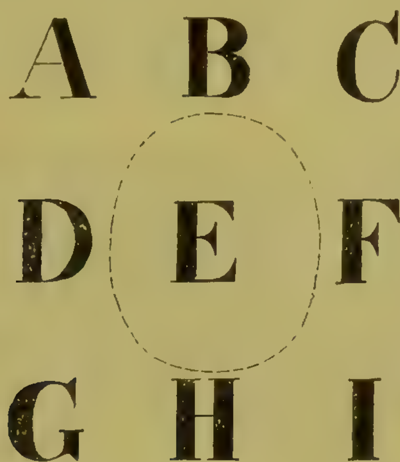


Fig. 227.

Eine gerade Linie, deren Mitte in die Lücke fällt, erscheint v. WITTICH rkürzt, während E. H. WEBER, VOLKMANN und ich sie unverkürzt sehen. ne Kreisfläche, die nicht ganz, aber beinahe ganz vom blinden Flecke deckt wird, deren Rand man aber ringsum sehen kann, erscheint mir enso grofs, wie eine ebenso weit nach der Nasenseite des Fixationspunktes gende ähnliche Fläche. Uebrigens glaube ich, wie schon WEBER und OLKMANN fanden, die ganze Fläche in der Farbe des Randes zu sehen, 580
lbst wenn von diesem nur ein schmaler Streif aufserhalb der Lücke liegt. , wenn die Kreisscheibe von engbedrucktem Papier geschnitten ist, so aube ich sie in ganzer Ausdehnung mit Buchstaben bedeckt zu sehen, bis n die Aufmerksamkeit genau auf sie richte, wo ich dann erkenne, dafs ich ihrer Mitte nichts unterscheide.

FUNCKE berichtet, dafs wenn die Lücke auf bedrucktes Papier fällt und sich diesseits und jenseits derselben zwei hervorstechende Buchstaben merkt hat, diese einander genähert erscheinen. Auch in diesem Falle sehe n die Buchstaben in ihrer richtigen Distanz.

Diese Widersprüche lassen sich wohl daraus erklären, dafs wir als gänzung für die Beurtheilung der räumlichen Dimensionen des Sehfeldes, elche hauptsächlich durch die Bewegungen des Auges erlernt ist, auch ch die WEBERschen Empfindungskreise berücksichtigen, namentlich für eine, einander nahe Objecte, für welche die erstere Art der Beurtheilung elleicht unvollkommenere Data giebt. Ob zwei seitlich liegende schwarze

---

[1] FUNCKE, *Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br.* Bd. III. Heft 3, S. 12 u. 13.

Punkte, die auf verschiedenen Seiten des Fixationspunktes sich befinden von ihm gleich weit abstehen oder nicht, können wir nicht mit derselbe Genauigkeit entscheiden, als wenn beide auf derselben Seite und nah aneinander liegen und zwischen ihnen noch ein weifser Fleck des Grunde sichtbar ist, dann ist es nicht zweifelhaft, welcher dem Fixationspunkt nähe ist, welcher ferner.

Nun stimmen in den übrigen Theilen des Sehfeldes beiderlei Bestimmungs weisen nothwendig überein; in der Gegend des blinden Flecks dagegen fehle die Eindrücke, welche wir zwischen denen des Randes der Lücke erwarte sollten und welche das sinnliche Zeichen ihrer räumlichen Trennung sei sollten. Andererseits können wir mittels der Bewegungen des Auges doc richtige Erfahrungen über die wirkliche Lage der Randpunkte der Lück machen und sie als getrennt erkennen. Daher ist es möglich, dafs ver schiedene Beobachter, die bald mehr auf dieses, bald mehr auf jenes Momen zu achten gewohnt sind, verschieden urtheilen, und dafs selbst bei eine und demselben Beobachter nebensächliche Verhältnisse für das eine ode andere den Ausschlag geben.

Ich habe früher bemerkt, dafs im Allgemeinen die Lücke eines jede Auges beim gewöhnlichen zweiäugigen Sehen ausgefüllt wird durch das, wa das andere Auge an jener Stelle des Sehfeldes wahrnimmt. Diese Rege erleidet aber, wie Volkmann gezeigt hat, ebenfalls Ausnahmen. Bezeichne wir den blinden Fleck des einen Auges mit a, die entsprechende Stelle de andern Auges mit α, die Umgebung von a mit b, die von α mit β, die de beiden Stellen a und α entsprechende Stelle im Gesichtsfelde mit A, ihr Umgebung mit B, so lassen sich leicht folgende Versuche machen:

1. Wir sehen mit dem ersten Auge auf weifses Papier und schliefsen da andere Auge, so empfinden wir

   auf a: Nichts, auf b: Weifs
   auf α: Dunkel, auf β: Dunkel

   und meinen zu sehen

   auf A: Weifs, auf B: Weifs.

581 2. Wir sehen mit beiden Augen auf weifses Papier, halten aber vor da zweite ein blaues Glas; wir empfinden also

   auf a: Nichts, auf b: Weifs
   auf α: Blau, auf β: Blau

   und meinen zu sehen

   auf A: Blauweifs, auf B: Blauweifs.

3. Aehnlich fällt der Versuch aus, wenn wir mit beiden Augen durc verschiedenfarbige Gläser sehen, wobei ein ungleichförmiges un wechselndes Gemisch beider Farben im Sehfelde erscheint; auch dan zeichnet sich A von dem Rest des Feldes in keiner Weise aus.

In den bisherigen Fällen, wo die Stelle α ebenso beleuchtet war, wie β glaubten wir die Lücke in der Farbe des Grundes zu sehen, wobei dann da sonderbare Resultat eintritt, dafs die Stelle A des Sehfeldes, die in de

nen Auge gar keine Empfindung, im andern die von Schwarz oder Blau rvorruft, uns weifs oder blauweifs erscheint.

4. Nun blicken wir nach einem schwarzen Blatte, auf dem ein weifser Kreis liegt, der der Lücke a entspricht. Wir empfinden

auf a: Nichts, auf b: Schwarz
auf α: Weifs, auf β: Schwarz.

Wir sehen

auf A: Weifs, auf B: Schwarz.

Halten wir vor das zweite Auge ein blaues Glas, so tritt hierbei statt Weifs natürlich überall Blau ein.

5. Wir blicken nach einem weifsen Felde, auf dem sich ein schwarzer Fleck, der Lücke a entsprechend, befindet. Wir empfinden

auf a: Nichts, auf b: Weifs
auf α: Schwarz, auf β: Weifs

und sehen

auf A: Schwarz, auf B: Weifs.

6. Nachdem wir die Fixation des vorigen Versuchs eine Weile unverändert unterhalten haben, blicken wir auf einen andern Punkt der weifsen Fläche, dann erscheint ein helleres weifses Nachbild des schwarzen Flecks, welches ebenfalls dem Orte der Lücke entspricht. Also auch der schwache Unterschied zwischen dem etwas helleren Weifs des Nachbildes und dem etwas matteren des Grundes genügt, den Gesichtseindruck der Lücke zu bestimmen. Dadurch können nun auch scheinbare Widersprüche mit Versuch 3 eintreten.

7. Die Bedingungen des vorigen Versuchs werden dahin abgeändert, dafs ich vor das Auge ab ein grünes Glas, vor $\alpha\beta$ ein rothes setze und erst so fixire, dafs der schwarze Fleck der Lücke a entspricht, dann sehe ich den Fleck schwarzgrün, fast als ob ich ihn durch das grüne Glas mit der Lücke a sähe. In Wahrheit aber ist das eine Contrastfarbe im andern Auge auf α gegen den rothen Grund β. Wenn ich eine kleine Weile fixirt habe und dann eine andere Stelle des Papiers fixire, so sehe ich die Stelle A des Gesichtsfeldes rein roth, scheinbar mit dem Auge $\alpha\beta$ allein. Aber in diesem Falle ist es hier das heller 582
rothe Nachbild des vorhergesehenen Schwarz, wodurch sich α vor β auszeichnet und daher den Eindruck bestimmt.

Aus diesen letzteren Versuchen scheint also hervorzugehen, dafs der indruck auf α das Gesammtbild wenigstens dann bestimmt, wenn α von β urch Helligkeit und Farbe deutlich unterschieden ist. Doch ist auch in lchen Fällen α nicht allein bestimmend.

8. Ich blicke nach einem hellgrauen Papier, auf dem eine weifse Oblate liegt, der Lücke a entsprechend; vor das geschlossene Auge $\alpha\beta$ bringe ich ein rothes Glas und öffne es dann. Nun habe ich in der Empfindung

auf a: Nichts, auf b: Grau
auf α: Roth, auf β: Mattes Roth.

Ich meine zu sehen:

auf A: Rothweifs auf B: Grauroth.

Das Roth auf α, wenn das Auge ab geschlossen ist, ist entschieden gesättigter, als es in A ist, wenn ab geöffnet ist, trotzdem a keinen Eindruck empfängt. Das Entsprechende sieht man auch bei Anwendung andersfarbiger Gläser. Der Unterschied wurde noch deutlicher, wenn ich nahe neben die weifse Oblate eine rothe legte, die durch das rothe Glas gesehen ebenso aussah, wie die weifse. Die rothe Oblate mufs aber, bis das Auge hinter dem rothen Glase geöffnet wird, verdeckt werden durch einen dem Grunde gleichfarbigen Schirm, damit sie kein Nachbild entwickelt, welches ihr Roth abschwächt und grau macht, wenn es zur Vergleichung kommt.

In diesem letzteren Falle ist es unverkennbar der Einflufs des grauen Grundes in b, der uns a weifslich sehen läfst. Es lassen sich alle diese Erscheinungen auf das Gesetz zurückführen, dafs wir mit beiden Augen die der Lücke entsprechende Stelle A des Sehfeldes um so viel heller oder dunkler als den Grund B zu sehen glauben, wie wir in dem anderen Auge (α und β) sie wirklich heller oder dunkler sehen. Die gemeinsame Färbung des Sehfeldes α und β wird nicht übertragen auf die Lücke des andern Auges, wohl aber die Differenz zwischen α und β auch als für a und b bestehend angeschaut. Aehnliche Verhältnisse werden wir unten in der Lehre vom binocularen Contraste wiederfinden.

Einigen Anstofs haben diejenigen subjektiven Erscheinungen erregt, welche gerade an der Eintrittsstelle des Sehnerven auftreten, wie die Lichtgarben bei schneller Bewegung des Auges und die hellen oder dunklen Kreisflächen bei elektrischer Durchströmung. Zu erklären sind sie nur, wenn man annimmt, dafs dabei die den Sehnerven unmittelbar umgebenden Netzhauttheile betroffen sind. Bei der elektrischen Durchströmung erklärt sich dies auch wohl einfach dadurch, dafs die hinter der Sclerotica liegende schlecht leitende, sehnige Masse des Sehnerven die elektrische Durchströmung der unmittelbar davor liegenden Netzhauttheile erschwert und diese deshalb gegen das übrige Gesichtsfeld contrastiren. Aufsteigender Strom, der das Gesichtsfeld licht macht, läfst den schlecht leitenden Sehnerveneintritt dunkel erscheinen, absteigender, der das Feld dunkel und röthlichgelb macht, dagegen licht und blau.

583 Für die leuchtenden Garben bei schneller Bewegung des Auges kann man den Beweis für die Richtigkeit dieser Erklärung nicht führen, wohl aber für die entsprechenden dunklen Flecke, welche man sieht, wenn man die Augen stark seitwärts und gegen ein gleichmäfsig erleuchtetes Feld wendet. Hat man die Augen nach links gewendet, so sieht man mit dem rechten Auge einen dunklen Fleck nach rechts hin im Gesichtsfelde, dessen rechter Rand sehr gut begrenzt ist, der linke, gegen die Mitte des Gesichtsfeldes gekehrte dagegen sehr unbestimmt. Hier ist auch die Lücke des Gesichts-

des; denn wenn man eine Bleistiftspitze vor dieses innere Ende des dunklen Flecks schiebt, verschwindet sie; nicht aber in dem übrigen Theile des dunklen Flecks.

Dagegen sieht man vor dem nach links gewendeten linken Auge den dunklen Fleck zwischen dem Fixationspunkte dieses Auges und dem blinden Flecke liegen. Bei nach links gewendeten Augen wird also die Netzhaut beiden Augen an der linken Seite des Sehnerven (im Gesichtsfelde ist der dunkle Fleck nach rechts gewendet) unempfindlicher gemacht. Dies ist die Seite, wo der Nervenstamm gegen die Sclerotica hingebogen wird, diese wahrscheinlich etwas einbiegt und so die Netzhaut verzerrt. Für diese dunklen Flecke läfst sich also erweisen, dafs sie nicht der eigentlichen Eintrittsstelle des Sehnerven entsprechen, sondern daneben liegen. Die hellen Erscheinungen im dunklen Felde werden hier wohl, ebenso wie bei den Druckbildern, dieselbe Stelle einnehmen; auch meine ich bei darauf besonders gerichteter Aufmerksamkeit erkannt zu haben, dafs die Spitze der einen Garbe bis zum Fixationspunkte hinreicht, wie der eine dunkle Fleck. Hiernach sind die oben S. 239 gemachten Angaben über den Ort dieser Flecke zu verbessern.

Wenn man nach zwei ungleich weit entfernten Punkten des Gesichtsfeldes sieht, für welche das Auge also auch nicht gleichzeitig vollkommen accommodirt sein kann, so sieht man wenigstens den einen derselben als Zerstreuungsbild. Der Strahlenkegel, welcher dieses Zerstreuungsbild bildet, wird abgegrenzt durch die Öffnung der Pupille, und es liegt derjenige Strahl in der Axe dieses Strahlenkegels, welcher durch den Mittelpunkt der Pupille gegangen ist. Wenn also auf denselben Netzhautpunkt a die Mittelpunkte zweier Zerstreuungskreise ungleich weit entfernter Punkte zusammenfallen, oder ein punktförmiges Bild mit der Mitte des Zerstreuungsbildes des zweiten Punktes, so müssen diejenigen beiden Strahlen beider Objectpunkte, welche durch den Mittelpunkt der Pupille gegangen sind, ganz zusammenfallen, oder derjenige Strahl, welcher durch beide Objectpunkte geht, mufs daher durch den Mittelpunkte der Pupille gehen.

Der Mittelpunkt der Pupille befindet sich nun im Innern des optischen Systems des Auges, vor ihm liegt die Hornhaut, hinter ihm die Krystallinse. Die Strahlen leiden also eine Brechung, ehe sie zu diesem Punkte gelangen, und werden auch noch wieder von ihrem Wege abgelenkt, nachdem sie ihn verlassen haben.

Strahlen, welche von dem wirklichen Mittelpunkte der Pupille ausgehen, werden in der Hornhaut so gebrochen, dafs sie nachher von dem Bilde des Mittelpunkts der Pupille, welches die Hornhaut entwirft, auszugehen scheinen werden. Umgekehrt Strahlen, welche aufserhalb des Auges gegen das Bild des Mittelpunkts der Pupille convergiren, werden durch den Mittelpunkt der Pupille selbst hindurchgehen.

Das Bild, welches bei der Brechung der Strahlen in der Hornhaut vom Mittelpunkte der Pupille entworfen wird, ist also derjenige Punkt, welchen wir den Kreuzungspunkt der Visirlinien genannt haben. Wenn zwei leuchtende 584
Punkte vor dem Auge in einer durch diesen Punkt gehenden geraden Linie liegen, so fallen die Mittelpunkte ihrer Zerstreuungskreise auf der Netzhaut zusammen.

Für das schematische Auge, welches auf S. 140 berechnet ist, habe ich auch den Abstand des Kreuzungspunktes der Visirlinien von der Hornhaut in Millimetern berechnet:

	Fernsehend	Nahesehend
1. Abstand des Mittelpunkts der Pupille	3,6 Millim.	3,2 Millin
2. Abstand des Kreuzungspunktes der Visirlinien von der Hornhaut	3,036 „	2,661 „
3. Abstand des Kreuzungspunktes von dem Mittelpunkte der Pupille	0,564 „	0,539 „

In anderer Weise bestimmt sich der Scheitelpunkt der Gesichtswinkel, wer die Accommodation des Auges fortdauernd den beobachteten Objecten angepal wird, weil nämlich bei der veränderten Accommodation des Auges die Knotenpunk selbst sich verrücken. Wir finden diesen Scheitelpunkt unter diesen Bedingung in folgender Weise am einfachsten.

Setzen wir voraus, es sei der Punkt A, *Fig. 228*, der gesuchte Scheitelpun der Gesichtswinkel DA und CA zwei durch ihn gezogene gerade Linien, welc gleiche Winkel mit der opt schen Axe EA machen, ur mit ihr in einer Ebene liege Es wird verlangt, dafs Objec wie die beiden Pfeile, wer ihre Endpunkte in den Lini DA und CA liegen, glei grofse Netzhautbilder FG g ben, wenn das Auge für d Endpunkte der betreffend Objecte richtig accommodi ist. Nun sei B_0 das Bild v

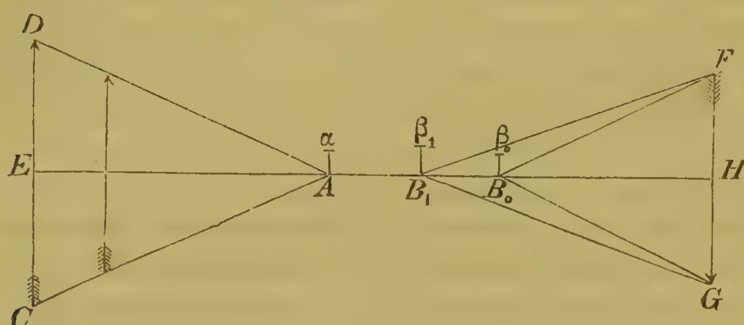


Fig. 228.

A im fernsehenden Auge, B_1 dasselbe im nahesehenden Auge. Wenn wir d Linien DA und CA als Strahlen betrachten, so werden diese so gebrochen werde dafs sie im Glaskörper von B_0 oder B_1 aus divergiren, um beziehlich nach F und zu gehen.

Nun denke man sich im Punkte A ein kleines, zur Axe senkrechtes Object und in B_0, beziehlich B_1 dessen optische Bilder β_0, beziehlich β_1, so findet na S. 71, Gleichung 7 d), folgende Beziehung zwischen den Winkeln DAC, $FB_0($ FB_1G und diesen Bildern statt

$$n_1 \cdot \alpha \cdot \operatorname{tang} \frac{DAC}{2} = n_2 \cdot \beta_0 \cdot \operatorname{tang} \frac{FB_0G}{2}$$

$$= n_2 \cdot \beta_1 \cdot \operatorname{tang} \frac{FB_1G}{2},$$

wo n_1 und n_2 die Brechungsverhältnisse von Luft- und Glaskörper sind. Da n

$$\operatorname{tang} \frac{FB_0G}{2} = \frac{FH}{HB_0}$$

$$\operatorname{tang} \frac{FB_1G}{2} = \frac{FH}{HB_1},$$

585 so folgt

$$\beta_0 : \beta_1 = HB_0 : HB_1.$$

Der gesuchte Scheitelpunkt der Gesichtswinkel ist also durch die Eigenschaft -akterisirt, dafs wenn in ihm ein kleines, zur Axe senkrechtes (virtuelles) Object , dessen Bild bei den Veränderungen der Accommodation seinem Abstande von Netzhaut proportional wächst.

Wenn man für die mittleren Werthe der optischen Constanten des fernsehenden nahesehenden Auges, welche auf S. 140 gegeben sind, die Lage dieses ktes berechnet, so findet man seinen Abstand gleich 2,942 Millimeter von der nhaut, so dafs er fast genau zusammenfällt mit dem vorher berechneten uzungspunkt der Visirlinien des fernsehenden Auges, dessen Abstand gleich 36 Mm. von der Hornhaut gefunden war. Bei den praktischen Anwendungen nen wir daher beide Punkte als zusammenfallend betrachten, besonders da so ne Unterschiede, wie der hier gefundene, bei dem bisher erreichbaren Grade Genauigkeit unserer Kenntnifs der optischen Constanten des Auges nicht zu ürgen sind.

Für die Gröfse der Gesichtswinkel des unbewegten Auges würde es danach en Unterschied machen, ob wir seine Accommodation den zu beobachtenden kten anpassen oder das Auge für unendliche Ferne einrichten.

J. B. LISTING[1] hat den Unterschied des Winkels, den zwei von zwei Objectkten nach dem Knotenpunkte des Auges gezogene Linien bilden, von demgen, welchen die von denselben Objectpunkten nach dem Drehpunkte des es gezogenen Linien bilden, die Parallaxe zwischen der scheinbaren e der Objecte bei directem und indirectem Sehen genannt. Ich le es vorziehen, diesen Namen so anzuwenden, dafs als Spitze des ersten kels der Kreuzungspunkt der Visirlinien[2] gebraucht würde, weil zwei punktige Objecte im indirecten Sehen gleiche Lagen haben, wenn sie in derselben rlinie liegen.

Diese Parallaxe ist gleich Null, wenn die Objecte unendlich entfernt sind; für unendlich weit entfernte Objecte die Schenkel der beiden zu vergleichenden kel einander paarweise parallel werden. Ist nun das eine Object unendlich ernt, so bezeichnet die genannte Parallaxe, um wie viel sich scheinbar das re Object vor einem unendlich entfernten Hintergrunde verschiebt, wenn man Blick auf dasselbe hinrichtet.

Um für diesen verhältnifsmäfsig einfachsten Fall die Gröfse der genannten allaxe vergleichen zu können mit den Ungenauigkeiten der Accommodation, sei Fig. 229 o der Drehpunkt des Auges, $oc = oe = \sigma$ die Entfernung des uzungspunktes der Visirn. In der Richtung oa das fernere Object, b sei nähere, so wird b, wenn direct fixirt wird, in der tung bg erscheinen und die dieser Richtung liegenden ile des unendlich entfernten ergrundes decken. Wenn in der Richtung oa fixirt l, wird der Kreuzungspunkt



Fig. 229.

[1] J. B. LISTING, *Beitrag zur physiologischen Optik.* Göttingen 1845. S. 14—16.
[2] Bei LISTING sind Visirlinien die vom Objecte nach dem Drehpunkt des Auges gezogenen Linien.

der Visirlinien in e liegen und b in der Richtung ef erscheinen. Der Winkel
586 $ebc = fbg = \varepsilon$ ist also die Parallaxe zwischen directem und indirectem Sehen. Bezeichnen wir den Abstand des Punktes b vom Punkte c mit ϱ, so ist

$$\operatorname{tang} \varepsilon = \frac{eh}{hb} = \frac{\sigma \sin \alpha}{\varrho + \sigma(1 - \cos \alpha)}.$$

Der Durchmesser p des Zerstreuungskreises von b in einem für unendlich Ferne accommodirten Auge ist nach S. 126, Gleichung 1 b), wenn P der Durchmesser der durch die Krystalllinse gesehenen Pupille und H der Abstand des vorderen Brennpunktes vom Kreuzungspunkte der Visirlinien ist

$$p = \frac{P \cdot H}{\varrho}$$

und wenn η der Winkel ist, unter dem der Radius des Zerstreuungskreises auf dem unendlich entfernten Hintergrund entworfen erscheint, f aber der Abstand des Knotenpunktes der Hornhaut vom hintern Brennpunkte, so ist

$$\operatorname{tang} \eta = \frac{p}{2f} = \frac{P \cdot H}{2\varrho \cdot f}$$

und wenn wir in dem Werthe von tang ε die Gröfse σ (10,5 Millimeter) gegen ϱ (die Entfernung des Objectes) vernachläfsigen, so ist

$$\operatorname{tang} \varepsilon = \frac{\sigma \sin \alpha}{\varrho}$$

und daher $\eta > \varepsilon$, so lange

$$\frac{PH}{2\sigma f} > \sin \alpha.$$

Es ist aber für das fernsehende Auge

$$H = 15{,}869 \text{ Millimeter,}$$
$$f = 15{,}007 \quad ,,$$
$$\sigma = 10{,}521 \quad ,,$$

P kann schwanken zwischen etwa 3 und 6 Millimeter; dem ersteren Werthe entspricht

$$\alpha < 8^0{,}40, \text{ dem zweiten } \alpha < 17^0{,}33.$$

So lange die Bewegung des Auges nicht gröfser ist, als diese Werthe des Winkels α, so lange ist die Verschiebung beim Uebergang vom indirecten zum directen Sehen nicht gröfser als der Radius des Zerstreuungskreises, unter dem der nähere Punkt erscheint.

Wenn man dabei berücksichtigt, wie aufserordentlich undeutlich das indirecte Sehen in 8^0 Entfernung vom Blickpunkte ist, so wird dadurch begreiflich, dafs wir nur ausnahmsweise, wenn irgend ein sehr heller Punkt hinter dem Rande eines dunklen Schirms auftaucht, die Veränderung des Bildes, welche von den Bewegungen des Auges abhängt, bemerken.

Ich lasse hier noch zwei wichtige Actenstücke für die Lehre von dem tändnifs der Gesichtserscheinungen folgen, welche die Beobachtungen von SELDEN und WARDROP an zwei Blindgeborenen berichten, denen erst in erem Alter das Gesicht durch eine Operation wiedergegeben wurde. CHESELDEN irte einen Knaben von 13 Jahren, welcher mit sehr stark getrübten Krystall-n (grauem Staar) geboren war.

CHESELDEN[1] berichtet Folgendes über seine Fähigkeit, Formen zu unter- 587
den: „Anfangs, nachdem er sein Gesicht bekommen hatte, wufste er so wenig Entfernungen zu urtheilen, dafs er sich vielmehr einbildete, alle Sachen, die ihe, berührten seine Augen, wie das, was er fühlte, seine Haut. Keine Sachen n ihm so angenehm, als glatte und regelmäfsige (vielleicht wegen des ein-ren und leichter zu analysirenden Gesichtseindrucks, oder wegen des Glanzes?), r wohl von ihrer Gestalt nicht urtheilen oder errathen konnte, was ihm an Sache gefiele. Er machte sich keinen Begriff von der Gestalt irgend einer e, unterschied auch keine Sache von der anderen, so verschieden sie auch an lt und Gröfse waren; wenn man ihm aber sagte, was das für Dinge wären, r zuvor durchs Gefühl erkannt hatte, so betrachtete er sie sehr aufmerksam, ie wieder zu kennen; weil er aber auf einmal zu viel Sachen zu lernen hatte, fs er immer wieder viel davon und lernte, wie er sagte, in einem Tage tausend e kennen und vergafs sie wieder. Zum Exempel, er hatte oft vergessen, nes die Katze und welches der Hund war, und schämte sich darum weiter zu n; fing also die Katze, die er durch das Gefühl kannte, betrachtete sie sehr u, setzte sie nieder und sagte: „So, Miezchen, nun will ich dich ein andermal en“. — Man glaubte, er würde bald verstehen lernen, was Gemälde vorstellten, eigte sich aber das Gegentheil. Denn zwei Monate, nachdem ihm der Staar chen war, machte er plötzlich die Entdeckung, dafs sie Körper mit Erhöhungen Vertiefungen darstellten; bis dahin hatte er sie nur als buntscheckige ıen angesehen. Dabei aber erstaunte er nicht wenig, dafs sich die Gemälde so anfühlen liefsen, wie die Dinge, welche sie vorstellten, und dafs die e, welche durch ihr Licht und Schatten rund und uneben aussahen, flach, wie übrigen, anzufühlen waren. Er fragte, welcher von seinen Sinnen ihn betröge, Gefühl oder das Gesicht. Als man ihm seines Vaters Bild in einem Angehänge seiner Mutter Uhr zeigte und ihm sagte, was es wäre, erkannte er es für ch, wunderte sich aber sehr, dafs ein grofses Gesicht sich in einem so kleinen ıe vorstellen liefs, welches ihm, wie er sagte, so unmöglich würde geschienen ı, als einen Scheffel in eine Metze zu bringen.

„Anfangs konnte er wenig Licht vertragen und hielt alles, was er sah, für mein grofs; als er aber gröfsere Sachen sah, hielt er jene für kleiner, weil ich gar keine Linien aufserhalb des Umfangs, den er sah, vorstellen konnte. das Zimmer, worin er wäre, ein Theil des Hauses sei, sagte er, wüfste er , könnte aber nicht begreifen, wie das ganze Haus gröfser als das Zimmer hen könnte.

„Ein Jahr, nachdem er sein Gesicht wiedererhalten hatte, brachte man ihn lie Dünen von Epsom, wo er eine weite Aussicht hatte; diese ergötzte ihn ehr und war ihm, wie er sagte, eine neue Art von Sehen.

„Als ihm der Staar an dem andern Auge gestochen ward, kamen ihm, wie

---

[1] CHESELDEN, *Phil. Transact.* 1728. XXXV, p. 447: *Smith Opticks Remarks*, p. 27.

er sagte, die Sachen mit diesem Auge größer vor, doch nicht so groß, als : ihm anfangs mit dem ersten erschienen waren. Wenn er einerlei Sache mit beid Augen ansah, so kam sie ihm noch einmal so groß vor, als mit dem zuerst « haltenen allein; aber doppelt sah er nichts, soviel man entdecken konnte."

Hierbei ist zu bemerken, daſs auch bei einer noch so undurchsichtigen Li der Blinde immer im Stande war zu lernen, wie er die Augen bewegen muſs um von der Sonne den hellsten Eindruck zu empfangen, d. h. nach der Son hinzusehen. Also in der Beurtheilung der Richtung der Objecte aus der Richtu des Blicks nach ihnen hin konnte er nicht als ganz ungeübt betrachtet werd
588 Ja, es ist selbst unwahrscheinlich, daſs die Linse jemals das Licht so vollstän gleichmäſsig nach allen Richtungen hin verstreue, daſs nicht doch am Ende Theile der Netzhaut, welche dem Orte, wo der Focus der Strahlen sich bil sollte, benachbart wären, etwas stärker erleuchtet gewesen wären, als die übr Fläche der Netzhaut. Dann konnte auch selbst ein gewisser, wenn auch sehr u vollkommener und ungenauer Grad der Localisirung im Sehfelde ausgebildet se wie auch J. WARE[1] bei einem ähnlichen Falle bemerkte. Letzterer fand, d Kinder mit Cataract nicht nur die Farben gefärbter Gegenstände, die man d Auge nahe brachte, noch erkennen konnten, sondern sogar einigermaſsen die E fernung. Ein siebenjähriger Knabe, der von WARE operirt war, war von Anf an viel geschickter und sicherer als CHESELDEN'S Patient. Es ist sehr interessa daſs in dem beschriebenen Falle dennoch das Erlernen der Gesichtswahrnehmun so deutlich hervortritt.

Noch merkwürdiger in mancher Beziehung ist ein von WARDROP[2] mitgetheil Fall von einer Dame, welche blind, wahrscheinlich mit getrübten Linsen gebo war. Im Alter von sechs Monaten wurde sie in Paris einer Operation unterwor nach welcher das rechte Auge ganz zu Grunde ging, im andern die Pupille v ständig verwuchs, so daſs keine Spur derselben mehr zu sehen war, auſser eini Streifen von gelben Ausschwitzungen, die in unregelmäſsiger Weise über die M der Iris verbreitet waren. Sie war demnach viel blinder, als Staarkranke zu pflegen, und konnte wohl kaum mehr vom Licht und seiner Richtung erkenn als Gesunde hinter den geschlossenen Augenlidern erkennen können. Sie kon ein sehr helles von einem dunklen Zimmer unterscheiden, ohne indessen die Richt des Fensters erkennen zu können, durch welches das Licht drang; dage bei Sonnenschein und hellem Mondschein erkannte sie die Richtung, wo das Li herkam.

Am 26. Januar 1826 wurde versucht, die Ausschwitzungen, die die Pup verschlossen, zu durchschneiden, was nicht gelang. Am 8. Februar darauf wu ein Schnitt durch die Iris gemacht, der reichlich Licht in das Auge treten li hinter demselben lag aber noch eine undurchsichtige Masse. Während der mäſsi Entzündung, welche folgte, war die Patientin gegen Licht sehr empfindli man bemerkte, daſs sie oft versuchte ihre Hände zu sehen. Am 17. Febr endlich wurde die Oeffnung in der Iris erweitert und die opaken Massen hi derselben entfernt, wodurch endlich das Sehen frei wurde. Ich lasse hier Wesentliche von WARDROP'S Bericht folgen:

---

[1] J. WARE *Case of a young gentleman who recovered his sight, when seven years of age. Phil. T* 1801. XCI. p. 382—396

[2] J. WARDROP *Case of a lady born blind, who received sight at an advanced age by the formatio an artificial pupil. Phil. Trans.* 1826. III. 529—540.

„Nach der Operation kehrte sie in einem Wagen nach Haus zurück, die Augen nur lose mit einem seidenen Tuch verbunden; das erste, was sie bemerkte, war ein Miethwagen, der vorbeikam, wobei sie ausrief: „Was für ein grofses Ding ist da bei uns vorbeigekommen?“ Im Lauf des Abends bat sie ihren Bruder, ihr seine Uhr zu zeigen, in Betreff deren sie viel Neugier bewies, und sie blickte nach ihr eine geraume Zeit, indem sie sie nahe an ihr Auge hielt. Man fragte, was sie sähe, und sie antwortete, dafs eine Seite dunkel und die andere hell wäre; sie zeigte auch auf die Ziffer 12 und lächelte. Ihr Bruder fragte, ob sie noch etwas mehr sähe? sie antwortete „Ja“ und zeigte auf die Ziffer 6 und auf die Zeiger der Uhr. Dann betrachtete sie die Kette und die Siegel, und bemerkte, dafs eines der Siegel hell sei, was in der That sich so verhielt, da es aus Bergkrystall war. Am andern Tage bat sie Herr WARDROP wieder nach der Uhr zu sehen, was sie verweigerte, indem sie sagte, dafs das Licht ihrem Auge wehe thäte und dafs sie 589
sich äufserst dumm vorkäme, indem sie damit meinte, sie sei zu sehr verwirrt durch die sichtbare Welt, die ihr so zum ersten Male eröffnet war. Am dritten Tage bemerkte sie Thüren an der andern Seite der Strafse und fragte, ob sie roth seien; sie waren in der That von der Farbe des Eichenholzes. Am Abend blickte sie nach ihres Bruders Gesicht und sagte, sie sähe seine Nase; er forderte sie auf, danach zu greifen, was sie that; dann warf er sich ein Taschentuch über das Gesicht und sagte, sie möchte noch einmal hinsehen, worauf sie es scherzend fortzog und fragte: „Was soll das heifsen?“

Am sechsten Tage erklärte sie, dafs sie besser sähe, als an irgend einem der vorigen Tage; „aber ich kann nicht sagen, was ich sehe, ich bin ganz dumm“. Sie schien in der That dadurch ganz verwirrt zu sein, dafs sie nicht fähig war, die Wahrnehmungen durch den Tastsinn mit denen durch den Gesichtssinn zu combiniren, und fühlte sich enttäuscht, dafs sie nicht fähig war, sogleich Gegenstände mit dem Auge zu unterscheiden, die sie so leicht durch Betasten unterscheiden konnte.

Am siebenten Tage bemerkte sie die Hauswirthin, bei der sie wohnte, und erklärte, dafs sie schlank sei. Sie fragte, was die Farbe ihres Kleides sei? worauf man antwortete, es sei blau. „So ist auch das Ding auf Eurem Kopfe“, bemerkte sie, was richtig war; „und Euer Taschentuch ist von anderer Farbe“, was auch richtig war. Sie fügte hinzu: „Ich sehe Euch ziemlich gut, denke ich.“ Theetassen und Untertassen wurden einer Prüfung unterzogen. „Was ist dies?“ fragte ihr Bruder. „Ich weifs es nicht“, antwortete sie, „es sieht sehr verqueer aus; aber ich kann im Augenblick sagen, was es ist, wenn ich es anfasse.“ Sie sah eine Orange über dem Kamin liegen, aber hatte keinen Begriff, was es wäre, bis sie sie berührte. Sie schien nun heiterer zu werden und gröfsere Hoffnungen auf ihren Eintritt in die Welt des Sichtbaren zu hegen; auch meinte sie, dafs sie ihre neu erworbenen Fähigkeiten würde besser gebrauchen können, wenn sie nach Haus zurückkäme, wo ihr Alles genau bekannt war.

Am achten Tage fragte sie ihren Bruder bei Tische, was er sich da gerade nähme; und als ihr gesagt wurde, es sei ein Glas mit Portwein, antwortete sie: „Portwein ist dunkel und sieht sehr häfslich aus.“ Als Kerzen in das Zimmer gebracht wurden, bemerkte sie ihres Bruders Gesicht im Spiegel und auch das einer anwesenden Dame; sie ging auch zum ersten Male ohne Beistand von ihrem Stuhl zu einem Sopha und wieder zurück zu dem Stuhl. Beim Thee fiel ihr das Geschirr auf, sie bemerkte den Glanz des Porzellans und sie fragte: „was die Farbe

längs der Kante sei“. Man sagte ihr, es sei Gelb, worauf sie erwiderte: „ Farbe will ich wieder kennen.“

Am neunten Tage kam sie zum Frühstück herab in sehr guter Laune; sagte zu ihrem Bruder: „Heut sehe ich Dich sehr gut“, kam zu ihm heran reichte ihm die Hand. Sie bemerkte auch einen Miethzettel an dem Fenster ei Hauses auf der entgegengesetzten Seite der Strafse, und ihr Bruder, um sich überzeugen, führte sie drei verschiedene Male an das Fenster, und zu seinem staunen und Freude deutete sie jedesmal ganz bestimmt danach hin.

Sie brachte einen grofsen Theil des eilften Tages damit zu, aus dem Fen zu sehen, und sprach sehr wenig.

Am zwölften Tage wurde ihr der Rath gegeben auszugehen, worüber sie s vergnügt war. Ihr Bruder ging mit ihr, als ihr Führer, und nahm sie mit zweimal um die Säulenhallen von Coventgarden herum. Sie schien sehr ersta aber offenbar erfreut zu sein; der klare blaue Himmel zog ihre Aufmerksamk zuerst auf sich, und sie sagte: „Das ist das Hübscheste, was ich bisher gese
590 habe, und immer gleich hübsch, so oft ich mich danach wende und hinsehe“. unterschied den Strafsendamm vom Trottoir und trat von dem einen zum and herüber, wie Jemand, der an den Gebrauch seiner Augen gewöhnt ist. Ihre gr Neugier und die Art, wie sie die Menge von Gegenständen rings herum ansta und danach zeigte, erregte die Aufmerksamkeit der Vorübergehenden und ihr Bru brachte sie bald nach Hause, sehr gegen ihren Willen.

Am dreizehnten Tage trug sich nichts Besonderes zu bis zur Theezeit, sie bemerkte, dafs anderes Theegeschirr aufgesetzt war, welches nicht hübsch und einen dunkeln Rand habe, was eine richtige Angabe war. Ihr Bruder forde sie auf, in den Spiegel zu sehen und ihm zu sagen, ob sie sein Gesicht da sähe; worauf sie, sichtbar enttäuscht, antwortete: „Ich sehe mein eignes; l mich gehen“.

Am vierzehnten Tage fuhr sie in einem Wagen vier Meilen weit auf Wandsworth-Strafse, bewunderte meistens den Himmel und die Felder, bemerk die Bäume und auch die Themse, als sie über Vauxhallbrücke kam. Es war hel Sonnenschein und sie sagte, dafs etwas sie blende, wenn sie auf das Wasser sä

Am fünfzehnten Tage, einem Sonntage, ging sie nach einer Kapelle in eini Entfernung; sie sah jetzt entschieden deutlicher als früher, aber erschien noch v wirrter als während der Zeit, wo ihr Gesicht weniger vollkommen war. Die Leu welche auf dem Trottoir vorbeikamen, erschreckten sie; und einmal als ein H an ihr vorbeikam, der eine weifse Weste und einen blauen Rock mit gelben Knöp hatte, die im Sonnenschein stark erglänzten, schreckte sie so zusammen, dafs ihren Bruder, der mit ihr ging, von dem Trottoir herabzog. Sie erkannte, d der Geistliche seine Hände auf der Kanzel bewegte und dafs er etwas darin hie es war ein weifses Taschentuch.

Am sechszehnten Tage fuhr sie aus, um eine Visite in einem entfernten The der Stadt zu machen; das Getreibe in den Strafsen schien sie sehr zu unterhalt Als sie gefragt wurde, wie sie an diesem Tage sähe, antwortete sie: „Ich se sehr viel, wenn ich nur sagen könnte, was ich sehe; aber sicherlich, ich l sehr dumm“.

Nichts Besonderes fiel am siebenzehnten Tage vor; und als ihr Bruder fragte, wie es ihr ginge, antwortete sie: „Es geht mir gut, und ich sehe imm besser; aber quält mich nicht mit vielen Fragen, bis ich etwas besser gelernt hal

meine Augen zu gebrauchen. Alles, was ich sagen kann, ist, dafs ich versichert bin durch alles Das, was ich sehe, welch' eine grofse Veränderung mit mir vorgegangen ist; aber ich kann nicht beschreiben, was ich empfinde."

Achtzehn Tage nach der Operation versuchte Herr WARDROP durch einige Proben die Genauigkeit ihrer Begriffe von der Farbe, Gestalt, Form, Lage, Bewegung, Entfernung der äufseren Objecte festzustellen. Da sie nur mit einem Auge sehen konnte, konnte nichts ermittelt werden über das Doppeltsehen mit zwei Augen. Sie erkannte offenbar die Verschiedenheit der Farben, das heifst, sie erhielt und empfand verschiedene Eindrücke von verschiedenen Farben. Als ihr verschiedenfarbige Stücke Papier, $1\frac{1}{2}$ Zoll im Quadrat, vorgelegt wurden, unterschied sie sie nicht nur sogleich von einander, sondern gab einigen Farben auch einen entschiedenen Vorzug; Gelb gefiel ihr am besten, und dann Rosaroth. Hierbei mag noch bemerkt werden, dafs wenn sie einen Gegenstand zu prüfen wünschte, es ihr ziemlich schwer wurde, ihr Auge dahin zu richten und seine Lage ausfindig zu machen, indem sie ihre Hand sowohl, wie ihr Auge in verschiedenen Richtungen herum bewegte, wie Jemand mit verbundenen Augen oder im Dunkeln mit seinen Händen umhergreift, um zu fassen, was er wünscht. Sie unterschied auch grofse von kleinen Gegenständen, wenn beide ihr neben einander zum Vergleich vorgehalten wurden. Sie sagte, sie sähe verschiedene Formen an verschiedenen Gegen- 591
ständen, die ihr gezeigt wurden. Man fragte, was sie meinte unter verschiedenen Formen, zum Beispiel langen, runden, viereckigen, und nachdem man sie gebeten hatte, mit ihrem Finger diese Formen auf ihrer anderen Hand zu zeichnen, brachte man vor ihr Auge die betreffenden Formen, wobei sie richtig nach ihnen hinwies. Sie unterschied nicht nur kleine von grofsen Gegenständen, sondern wufste auch, was oben und unten sei. Um dies zu prüfen, wurde eine mit Tinte gezeichnete Figur vor ihr Auge gebracht, deren eines Ende breit, das andere schmal war; sie sah deren Lage, wie sie wirklich war, nicht umgekehrt. Sie konnte auch Bewegungen bemerken; denn als ein Glas Wasser auf den Tisch vor sie gestellt wurde und als sie ihre Hand näherte, schnell fortgezogen wurde in gröfsere Entfernung, sagte sie sogleich: „Sie bewegen es; Sie nehmen es fort".

Sie schien dagegen die gröfste Schwierigkeit zu haben in der Schätzung der Entfernung der Dinge; denn während ein Gegenstand dicht vor ihr Auge gehalten wurde, suchte sie wohl danach mit ausgestreckter Hand weit jenseits seiner wirklichen Lage, während sie bei anderen Gelegenheiten nahe an ihrem Gesicht herumgriff nach einem Dinge, was weit entfernt war.

Sie lernte mit Leichtigkeit die Namen der verschiedenen Farben, und zwei Tage, nachdem ihr die farbigen Papiere gezeigt waren, bemerkte sie beim Eintritt in ein carminrothes Zimmer, dafs es roth sei. Sie bemerkte auch einige Gemälde, die an der rothen Wand des Zimmers hingen, in dem sie safs, wobei sie einige kleine Figuren auf ihnen unterschied, aber nicht wufste, was sie darstellten, und die vergoldeten Rahmen bewunderte.

Dabei mag noch bemerkt werden, dafs sie durch die Uebung ihres Gesichts nur sehr wenig Kenntnifs irgend welcher Formen gewonnen hatte und unfähig war, die Wahrnehmungen des neu gewonnenen Sinnes anzuwenden und zu vergleichen mit dem, was sie durch den Tastsinn zu erkennen gewöhnt war. Als man daher den Versuch machte, ihr einen silbernen Bleistifthalter und einen grofsen Schlüssel in die Hand zu geben, so unterschied sie und erkannte beide ganz genau. Aber wenn sie neben einander auf den Tisch gelegt wurden, sah sie, dafs beide ver-

schieden seien, aber sie konnte nicht sagen, welches der Bleistifthalter sei · welches der Schlüssel.

Nichts weiter kam vor in der Geschichte dieser Dame, was der Erwähn werth wäre, bis zum fünfundzwanzigsten Tage nach der Operation. An dem T fuhr sie in einem Wagen durch Regent's Park, und schien dort mehr als gewöhn sich zu unterhalten, und stellte mehr Fragen über die umgebenden Gegenstär zum Beispiel: „Was ist das?" Es ist ein Soldat, war die Antwort. „Und das, si sieh!" Es waren Kerzen von verschiedenen Farben in einem Ladenfenster. „\ ist das, das da vorbeikam?" Es war ein Herr zu Pferde. „Aber was ist Rothes auf dem Trottoir?" Es waren ein Paar Damen, die rothe Shawls trug Als sie in den Park kam, wurde sie gefragt, was sie vorzugsweise sähe, oder sie errathen könnte, was einzelne von den Gegenständen wären. „O ja", antwor sie, „da ist der Himmel, da ist Gras, dort ist Wasser und zwei weifse Ding welches zwei Schwäne waren. Als sie auf dem Rückweg durch Piccadilly k erstaunte sie sehr über die Juwelierläden und ihre Aeufserungen erregten herzlic Lachen bei ihren Begleitern.

Von da bis zu der Zeit, wo sie London verliefs, am 31. März, sechs Woc nach der Operation, fuhr sie fort, fast täglich mehr Kenntnifs der sichtbaren V zu gewinnen, aber es blieb noch viel zu lernen übrig. Sie hatte eine ziem genaue Kenntnifs der Farben und ihrer verschiedenen Abstufungen und Na gewonnen; und als sie Herrn WARDROP ihren Abschiedsbesuch machte, trug
592 das erste Kleid, was sie sich selbst ausgewählt hatte, helles Purpurroth, was sehr zu gefallen schien, ebenso wie ihr Hut, der mit rothen Bändern geziert v Sie hatte noch durchaus keine genaue Kenntnifs der Entfernungen oder For gewonnen, und bis zu dieser Zeit hin war sie immer noch verwirrt bei je (neuen) Gegenstand, auf den sie blickte. Auch war sie noch nicht fähig, o beträchtliche Schwierigkeit und zahllose vergebliche Versuche, ihr Auge auf ei Gegenstand zu richten, so dafs, wenn sie versuchte danach hinzublicken, sie ih Kopf nach verschiedenen Seiten wendete, bis ihr Auge den Gegenstand erfal nach dem sie suchte. Sie hegte indessen noch immer die Hoffnung, die sie k nach der Operation geäufsert hatte, dafs wenn sie nach Hause käme, ihre Kennt der Aufsendinge genauer und verständlicher werden würde, und dafs, wenn auf die Sachen blicken könnte, mit denen ihr Tastsinn so lange vertraut gewe war, die Verwirrung, welche die Mannigfaltigkeit der Gegenstände ihr bis j verursacht hatte, schwinden würde.

So weit WARDROP. Es ist bei diesem Berichte zu bedenken, dafs die Patie vor der letzten Operation schon mehrere Tage lang sich bemüht hat, bei frei noch nicht vollständig wiedererlangtem Gesichtsvermögen, ihre Hände zu besel und daher wohl gelernt haben konnte, diese im Gesichtsfelde zu kennen und ih Bewegungen mit dem Blicke zu folgen, wie sie denn auch selbst vorher sc gelernt haben konnte, ihre Augen der Sonne zuzuwenden, also einen gewissen G der Richtung des Blicks und die Kenntnifs der ohngefähren Richtung, aus der ihre Augen erregende Licht herkam, erhalten haben mochte. Die optischen Bil in ihrem Auge müssen ziemlich gut gewesen sein, da sie die Ziffern und Zei einer Taschenuhr, einen Miethszettel an einem gegenüberliegenden Fenster, Wac kerzen, Juwelenschmuck am Schaufenster von der Mitte der Strafse her aus n Wagen erkennen konnte. Das Erste, was sie als Gegenstände unterscheiden ler waren bewegliche Dinge, namentlich menschliche Gestalten und durch Fa

hervorstechende Objecte, wie die röthlichen Thüren, die Orange, die farbigen Kleider der Frauen. Es ist übrigens auch bei den neugeborenen Kindern auffallend, wie viel früher sie menschliche Gestalten und Gesichter zu erkennen und mit dem Blicke zu verfolgen wissen, als andere Gegenstände. Die menschlichen Gestalten ziehen natürlich vor anderen Dingen das Interesse auf sich und sind durch die Art der Bewegungen, die sie ausführen, von andern Objecten des Gesichtsfeldes wesentlich unterschieden. Bei diesen Bewegungen sind sie auch als zusammenhängendes Ganzes charakterisirt, und das Gesicht, als ein weifsröthlicher Fleck mit den beiden glänzenden Augen ist immerhin eine Stelle dieses Bildes, welche leicht wiederzuerkennen sein wird, auch für Jemanden, der sie erst wenige Male gesehen hat.

Was die Unterscheidung der Formen betrifft, auf die es uns hier hauptsächlich ankommen würde, so ist zunächst klar, dafs in einem solchen Falle die Hauptschwierigkeit sein mufs, die wechselnden perspectivischen Projectionen körperlicher Gegenstände kennen zu lernen. Denn der Blinde weifs natürlich gar nichts von der Möglichkeit einer solchen Projection. Aber einzelne Züge in dem Bericht zeigen, dafs die Dame auch solche Formen, die durch perspectivische Projection nicht entstellt waren, nicht zu erkennen wufste, wie zum Beispiel den Schlüssel und den Bleistifthalter. Ersterer mit Bart und Ring, von der Fläche gesehen, mufste auf der Netzhaut sich in derselben Gestalt darstellen, wie man ihn fühlt. Wenn also ein angeborenes Vermögen da wäre, die Formen der Netzhautbilder zu erkennen, im Sinne der nativistischen Theorie, so hätte der Schlüssel am Ringe und Barte erkannt werden müssen. Dazu kommt die mehrfach erwähnte Unfähigkeit, den Ort eines indirect gesehenen Objectes mit dem Blicke und der Hand zu finden. Wären die Richtungen der Verbindungslinien zwischen dem centralen und einem seitlichen Bilde der Netzhaut schon durch angeborene Anschauung bekannt, so könnte 593
es keine grofse Schwierigkeit gemacht haben, den Blick längs der Verbindungslinie, der Reihe der auf dieser liegenden Bilder folgend, nach dem gewünschten Punkte hinzuführen.

Es scheint mir dagegen nicht zu streiten, dafs dieselbe Dame am achtzehnten Tage nach der Operation einfache Formen zu unterscheiden wufste. Wenn man den Blick längs des Umfanges eines Kreises, eines länglichen Rechtecks, eines Quadrates laufen läfst, wird man unter ähnlichen Umständen wohl bald fähig sein, ein geradliniges Begrenzungsstück von einem krummlinigen zu unterscheiden, eine Ecke als solche zu erkennen, zu wissen, ob man den Blick hauptsächlich von oben nach unten, oder von rechts nach links laufen läfst, u. s. w.; was zur Erkennung der genannten Figuren genügen würde. Es ist hierbei nur nöthig, den Blick längs einer continuirlich fortlaufenden Umfangslinie fortzuführen, was natürlich leichter ist, als ihn nach einem entfernten Object im Seitentheil des Gesichtsfeldes hinzuleiten. Auch das Erkennen der Nase, als eines Vorsprunges an dem röthlichen Fleck, den das Gesicht ihres Bruders im Gesichtsfeld bildete, läfst sich auf diese Weise erklären. Die Uhr, die sie am ersten Abend untersuchte, hatte sie in der Hand und erkannte sie also durch das Getast; die Ziffern und Zeiger hat sie nicht als solche bezeichnet, sondern nur bemerkt, dafs sie markirte Stellen für das Gesicht seien, während der tastende Finger durch das Uhrglas hindurch nichts davon erkennen konnte. Diese Theile zu zeigen, war ihr möglich, indem sie das Bild des Fingers, was sie schon kannte, bis zu dem Bilde der genannten dunklen Objecte heranbewegte.

Andererseits scheint mir die Geschwindigkeit, mit der die Patientin einige Dinge sehen lernte, doch zu grofs gewesen zu sein, um zu der Annahme zu stimmen, die Localzeichen der Netzhautpunkte seien discontinuirliche und ungeordnete Zeichen, für welche erst aus Erfahrung gelernt werden müfste, welche Localzeichen benachbarten Netzhautpunkten angehören. Wenn die Localzeichen aber selbst continuirlich über das Feld der Netzhaut veränderliche Gröfsen sind, so würden von vorn herein, ohne Erfahrung, benachbarte Netzhautpunkte in der Empfindung als benachbart charakterisirt sein. Nur im letzteren Fall kann der Eindruck eines beleuchteten Flächenstücks der Netzhaut gleich als Beleuchtung einer zusammenhängenden Fläche im Sehfelde aufgefafst werden, ohne dafs vorausgehende Erfahrung lehrt, dafs die Localzeichen der erregten Netzhautfasern zusammenliegenden Faserenden und nicht punktförmig im Felde verstreuten angehören.[1]

Geschichtliches. Die Frage, ob die Kenntnifs der Ausmessungen des Gesichtsfeldes angeboren sei oder erworben, wurde von den Sensualisten des vorigen Jahrhunderts eifrig discutirt. MOLYNEUX warf die Frage auf, ob ein Blindgeborener, der durch das Gefühl einen Würfel von einer Kugel zu unterscheiden gelernt hätte, sie auch sogleich durch das Gesicht unterscheiden würde, wenn er dieses erlangte. MOLYNEUX und LOCKE[2] antworteten beide mit Nein. JURIN[3] schlofs sich dem an, bemerkte nur dabei, dafs, wenn der Blindgeborene Würfel und Kugel von verschiedenen Richtungen betrachten dürfte, die letztere ihm immer dieselben, ersterer verschiedene Bilder geben und er sie daran zu unterscheiden vermögen würde. Diese Ansicht,
594 wonach alle Kenntnifs der Form in den Gesichtswahrnehmungen auf Erfahrung und Vergleichung mit dem Tastsinn beruhe, blieb während des vorigen Jahrhunderts wohl die herrschende, so weit man überhaupt dieser Frage Aufmerksamkeit zuwandte, bis unter dem Einflufs der KANT'schen Lehre, dafs der Raum eine angeborene Form unserer Anschauung sei, JOHANNES MÜLLER[4] die entgegengesetzte Ansicht aufstellte. Nach ihm beruht Fühlen und Sehen auf denselben Grundanschauungen von der Ausbreitung unserer eigenen Organe im Raume. Er geht also aus von der Annahme, dafs wir eine angeborene Kenntnifs der räumlichen Dimensionen der empfindenden Theile der Netzhaut und ihrer Anordnung von vornherein mitbringen und dafs dadurch die ursprünglichen Ausmessungen des gesehenen flächenhaften Bildes unmittelbar in der Empfindung gegeben sind. Nur das nach aufsen Sehen, die Beurtheilung der Entfernung, der Körperform der Objecte sind ihm durch Erfahrung gegeben. Nach aufsen sehen, heifst nach J. MÜLLER die Gegenstände als aufserhalb unseres Körpers anschauen. Nun sehen wir fortdauernd oder immer wiederkehrend Theile unseres Körpers auf dem Felde unserer Netzhaut abgebildet und erkennen sie als uns zugehörig, durch unsern Willen unmittelbar beweglich an. Das Andere, was wir sehen, wechselt, und wir sehen es also als nicht zugehörig oder äufserlich unserem Körper. Dann lernen wir später die zwei Localisationen durch den Tastsinn der Haut und durch das Sehen mit der Netzhaut in der Vorstellung vereinigen. Doch erkennt J. MÜLLER an, dafs dies wunderbar scheine

---

[1] Andere Fälle: GRANT in *Voigt's Magaz.* IV. 1. S. 21. HOFBAUER, *Beiträge*, II. 2. S. 249. WAR' *Phil. Trans.* 1801, p. 332. HOME, *Phil. Trans*, 1807, I. p. 834. *Bibl. Britann.* XXXVII. p. 85. Jahr 180 TRINCHINETTI in *Arch. des sc. phys. et nat. de Genève*, VI. 336. *Giorn. d. ist. Lomb. 1847*, fasc. 46 e 47.

[2] LOCKE, *Essay concerning human understanding.* Bd. II. Ch. 9, § 8. Siehe auch BERKELEY, *New Theo of vision 1709*, Section 79.

[3] SMITH, *Opticks. Remarks*, p. 27. Ebenso PRIESTLEY, *Geschichte der Optik*, II. 512 der deutschen Uebersetzung.

[4] J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig 1826. — J. MÜLLER, *Handbuch de Physiologie des Menschen.* Coblenz 1840. Bd. II, S. 362.

se, nähmlich vom Standpunkte seiner Theorie aus; er vergleicht es mit den hrnehmungen, welche durch gleichzeitige Wirkung des Tastgefühls und durch rachten eines Spiegelbildes unseres Körpers (z. B. beim Rasiren) zu Stande imen können. Was das Problem des Aufrechtsehens trotz der umgekehrten e der Netzhautbilder betrifft, so erscheint uns nach MÜLLER wirklich alles cehrt, und nur weil unser eigener Körper und die durch den Tastsinn an ihm kirten Stellen uns alle auch verkehrt erscheinen, tritt kein Widerspruch ein. entlich werden also nach dieser Ansicht nicht die Bilder in den äufsern Raum ch unser Vorstellen projicirt, sondern der Anschauungsraum ist ein innerer, in die anderweitigen Wahrnehmungen der Dinge hineingetragen werden. sequenter noch hat UEBERWEG[1] diese Seite der MÜLLER'schen Theorie gestellt, während HERING[2] diesen Anschauungsraum zu einem Raum von drei ensionen macht und eigenthümliche Hypothesen hinzugefügt hat, um die dritte ension desselben durch die Anschauung entstehen zu lassen, von denen erst in folgenden Abschnitten die Rede sein kann. Der Letztgenannte hält auch in Abschnitt über einäugige Stereoskopie durchaus die Ansicht fest, dafs die zhaut sich so vollständig in ihrer Räumlichkeit anschaue, dafs sogar die anzen der Punkte auf ihr nach der geradlinigen Sehne, statt nach dem Bogen hätzt werden, eine Ansicht, deren Unbrauchbarkeit zur Erklärung der Gesichts-chungen, die sie erklären soll, wir schon oben berührt haben, und die in ctem Widerspruche zu stehen scheint mit der in § 118 und 124 desselben ks gemachten Annahme, wonach eine Ebene der scheinbare Ort der von beiden zhäuten übereinstimmend und identisch gesehenen Punkte sein soll.

Eine unmittelbare Kenntnifs der Distanzen auf der Netzhaut als Grund der theilung der gesehenen Punkte im Sehfeld liegt auch denjenigen Ansichten zu nde, welche eine unmittelbar angeborene Projection der Bilder in Richtung immter Linien nach aufsen annahmen. PORTERFIELD[3] und BARTELS[4] liefsen e Projection nach den Normalen der Netzhäute geschehen, VOLKMANN[5] nach 595
Richtungslinien, das heifst den Linien, die durch die hintern Knotenpunkte en. In beiden Ansichten ist also wenigstens die Schätzung der Winkeldistanzen Sehfelde durch angeborene Momente gegeben; ähnlich TOURTUAL.[6] VOLKMANN dann später seine Ansicht noch näher dahin specificirt, dafs er glaubt, die inbare Gröfse der Gesichtswinkel im Sehfelde hinge ab von der Zahl der einzelnen findlichen Nervenelemente, welche auf der entsprechenden Strecke der Netzhaut n.[7] Diese Ansicht von VOLKMANN liegt sehr vielen neueren Arbeiten über siologie des Auges zu Grunde; so benutzt sie unter andern namentlich auch KLINGHAUSEN,[8] um die Erklärung für die Abweichung des scheinbar verticalen idians und andere optische Täuschungen zu geben, indem er die Möglichkeit prechender Verziehungen des Netzhautbildes nachzuweisen sucht.

Die Rückkehr der Physiologen zu der älteren entgegenstehenden Ansicht, wonach Beurtheilung des Räumlichen auf Erfahrungen beruhe, findet ihr Vorspiel philosophischer Seite in den Ansichten von HERBART über die Sinneswahr-

1 ÜBERWEG, *Zeitschrift für rationelle Medicin.* R. 3, Bd. V, S. 268—282.
2 E. HERING, *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig 1864.
3 PORTERFIELD, *On the eye*, II, 285.
4 BARTELS, *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Berlin 1834.
5 A. W. VOLKMANN, *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes.* Leipzig 1836.
6 TOURTUAL, *Die Sinne des Menschen* Münster 1827.
7 A. W. VOLKMANN, *Berichte der Kön. Sächs. Ges. der Wissenschaften.* 30. April 1853.
8 RECKLINGHAUSEN, *Archiv für Ophthalmologie*, V, 2, S. 127. — *Poggendorff's Annalen.* CX, 65—92.

nehmungen. Es war sein metaphysisches Princip von der Einheit der Seele, welch ihn veranlafste, alle Vorstellungen für qualitative und zeitlich einander folgend nicht neben einander bestehende Processe zu erklären. Daher mufste er alle Raum anschauung von der Bewegung herleiten und die localen Unterschiede der Empfi dung mufsten qualitative sein. LOTZE war es namentlich, der diese Ansichten a die factischen Verhältnisse bei den sinnlichen Wahrnehmungen zu übertragen sucht und an den sich physiologischerseits zunächst MEISSNER[1] und CZERMAK[2] in ihr Untersuchungen über den Tastsinn anschlossen. In der physiologischen Optik wur die Aufmerksamkeit zunächst durch das Studium der Bewegungen des Auges wied in diese Richtung gelenkt. Einer der ersten Schritte war die von BRÜCKE au gestellte und in den folgenden Abschnitten zu besprechende Ansicht über den Einflu der Bewegungen beim stereoskopischen Sehen. Ich selbst habe in einem populär Vortrage[3] die Sache von dieser Seite dargestellt. W. WUNDT[4] hat das Verdien den ersten vollständigeren Versuch gemacht zu haben, die Bildung des Sehfeld aus den Bewegungserfahrungen herzuleiten, eine Aufgabe, deren Existenz u Wichtigkeit so gut wie ganz vergessen war. Er betrachtet darin als Localzeich die qualitativen Veränderungen der Empfindung auf verschiedenen Stellen der Net haut, die von PURKINJE, AUBERT und SCHELSKE beobachtet waren und ob S. 372—374 erwähnt wurden. Ich habe diese Annahme in der oben gegeben Darstellung nicht benutzt, weil ich nicht sehe, wie der Eindruck zum Beispiel v Schwarz in der Mitte des Feldes von Roth auf dem Randtheil local unterschied werden kann, wenn kein anderes Erkennungszeichen für den localen Unterschi da ist, als der qualitative Unterschied, wonach Roth in der Mitte roth, am Ran des Sehfeldes schwarz erscheint. Die Beurtheilung der Distanzen im Sehfelde lei WUNDT ab von dem Gefühl der Muskelanstrengung, welche nöthig sei, um sie n dem Blicke zu durchlaufen. Da die Erfahrung lehrt, dafs das Urtheil über d
596 Muskelanstrengungen einige Sicherheit nur hat, wenn fortdauernd die Wirkung derselben mit den Gesichtsbildern verglichen werden, so bin ich von den möglich Erfahrungen über die Congruenz gleicher Strecken von correspondirender Richtu ausgegangen, welche Annahme, wie mir scheint, wesentlich bestätigt wird dur die Erfahrung, dafs Strecken von übereinstimmender Richtung genau und sich verglichen werden, solche von nicht übereinstimmender Richtung nicht. Dadur wird freilich nicht ausgeschlossen, dafs nicht auch das von WUNDT in Anspru genommene Gefühl der Muskelanstrengung mitbenutzt werde.

Die Untersuchungen über die Genauigkeit des Augenmaafses wurden zunäch veranlafst durch E. H. WEBER'S[5] Gesetz, welches später von FECHNER[6] als psych physisches Gesetz bezeichnet worden ist und wonach die kleinsten empfindbar Unterschiede proportional der ganzen empfundenen Gröfse sind. Aufser den beid Genannten hat namentlich auch VOLKMANN[7] eine grofse Reihe sorgfältiger M

---

1 G. MEISSNER, *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Haut.* Leipzig 1852. — *Zeitschrift für ration Medicin.* R. 2. Bd. IV. S. 260.

2 CZERMAK, *Sitzungsberichte der K. K. Akademie der Wiss. zu Wien* 1855. XV. 466 u. XVII. 577. *Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen.* I. 183.

3 H. HELMHOLTZ, *Ueber das Sehen des Menschen.* Leipzig 1855.

4 W. WUNDT, *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Leipzig u. Heidelberg 1862. Abdrü aus *Zeitschr. für rat. Medicin* 1858—1862.

5 E. H. WEBER, *Über den Tastsinn und das Gemeingefühl*, S. 559 in *Wagner's physiologischem Wört buch.* — *Programmata collecta*, Fasc. III. 1851. — E. H. WEBER, *Berichte der sächs. Societät* 1852, S. 85 ff.

6 TH. FECHNER, *Elemente der Psychophysik.* Leipzig 1860. Bd. I, S. 211—236.

7 A. W. VOLKMANN, *Berichte der Sächsischen Soc.* 1858, p. 140. — *Physiologische Untersuchungen im Geb der Optik.* Leipzig 1863. Heft I, S. 117—139.

ngen angestellt. Den Einfluſs der Zeit, welche zwischen zwei solchen Ver-ichungen verstreicht, hat F. HEGELMAYER[1] untersucht.

Den constanten Fehler in der Vergleichung horizontaler und verticaler Distanzen t A. FICK zuerst bemerkt,[2] die constante Abweichung des scheinbar verticalen eridians RECKLINGHAUSEN,[3] letzterer auch die scheinbare Krümmung der geraden nie in den peripherischen Theilen des Sehfeldes, die Gesichtstäuschungen an nienmustern ZOELLNER,[4] dessen Entdeckung dann von HERING,[5] A. KUNDT[6] d AUBERT[7] weiter verfolgt wurde.

Die ältere Geschichte und Literatur der Untersuchungen über den blinden eck, wobei es sich hauptsächlich um den Nachweis der Thatsache und um die ysiologische Erklärung der Blindheit handelt, ist auf S. 273—274 gegeben. Die ntersuchungen über die Art der Ausfüllung der Lücke in der Vorstellung beginnen t E. H. WEBER'S[8] Untersuchungen, denen sich A. FICK und P. DU BOIS-EYMOND[9] und VOLKMANN[10] anschlossen, die fast ausschlieſslich richtige Locali-tion der rings um den Fleck gesehenen Objecte beobachteten und die Ausfüllung r Lücke psychologisch erklärten. Dagegen trat WITTICH[11] auf mit der Beob-htung falscher Localisationen, während FUNCKE[12] auf die Möglichkeit und das rkommen von individuellen Unterschieden in dieser Beziehung aufmerksam machte.

§ 29. Die Richtung des Sehens.

Die bisherigen Thatsachen bezogen sich nur auf die relative Lage der 598
rschiedenen leuchtenden Punkte neben einander im Gesichtsfeld. Wir issen nun noch über die Beurtheilung ihrer absoluten Richtung sprechen. ıbei ist zunächst zweierlei zu unterscheiden. Im Allgemeinen ist die chtung einer Linie gegeben durch zwei Winkel, die sie mit den Richtungen ssend gewählter fester Axen oder Ebenen bildet, ohne daſs wir dabei tsetzen, daſs die Linie durch einen bestimmten Punkt gehen solle. Wir hreiben allen mit jener ersten Linie parallelen Linien die gleiche Richtung . So haben zum Beispiel alle Magnetnadeln, die innerhalb einer Stadt fgehängt sind, die gleiche Richtung von Süden nach Norden. Etwas nderes ist es, wenn wir die Richtung nicht nur im Allgemeinen gegen ı bestimmtes Coordinatsystem, wie es im Gebiete einer Stadt etwa Lothlinie, die Niveauebene und in dieser der terrestrische Meridian rstellen, geben, sondern wenn wir die Richtungen alle auf einen bestimmten ttelpunkt beziehen wollen. Dann sind die Richtungen darzustellen durch

---

[1] F. HEGELMAYER, *Vierordt's Archiv* XI, S. 844—853.

[2] A. FICK, De errore quodam optico asymmetria bulbi effecto. Marburg 1851. Auszug in *Zeitschrift rationelle Medicin.* R. 2. Bd. II, S. 83.

[3] In den oben citirten Aufsätzen.

[4] ZÖLLNER, *Poggendorff's Annalen* CX, S. 500—523.

[5] E. HERING, *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig 1861. Heft I, S. 65—80.

[6] A. KUNDT, *Poggendorff's Annalen* CXX, S. 118.

[7] H. AUBERT, *Physiologie der Netzhaut.* Breslau 1865. S. 269—271.

[8] E. H. WEBER, Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge. *h. der Sächsischen Ges.* 1852. S. 138.

[9] *Müller's Archiv für Anat.* 1853. S. 396.

[10] A. W. VOLKMANN, *Berichte der Königl. Sächs. Ges.* 30. April 1853. S. 40.

[11] V. WITTICH, *Archiv für Ophthalmologie.* IX. 3. 1863. S. 1—31.

[12] FUNCKE, *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br.* Bd. III, Heft 3, S. 12 u. 13.

ganz bestimmte gerade Linien, die durch den gewählten Mittelpunkt hindur gehen, und deren Richtung aufserdem durch zwei Winkel zu bestimm ist, die sie mit passend gewählten festen Axen machen. In diesem Fa kann die Richtung nicht bezeichnet werden durch eine andere parall Linie, die die gleiche Richtung hat, sondern sie mufs dieselbe o identische Richtung haben, das heifst, wenn hinreichend verlänge mit der ersten Linie vollständig zusammenfallen.

So lange man nur von Gleichheit der Richtungen spricht, si also nur Winkel zu bestimmen, welche die Richtung definiren; wenn m von Identität der Richtungen spricht, ist auch der Punkt zu bestimm welcher als Mittelpunkt gelten soll. Wir können sagen, dafs wir im erste Falle nur die Richtung bestimmen, im letzteren Falle eine bestimm Richtungslinie.

Wenn wir nun von den Richtungen des Sehens sprechen, so bezieh wir diese allerdings auf einen Mittelpunkt, nähmlich auf uns selbst u unseren Standpunkt im Raume. Indessen giebt es eine Reihe von E scheinungen, welche unabhängig sind von der Bestimmung des Mittelpun der Richtungslinien. Es sind dies namentlich alle diejenigen, welche be Sehen entfernter Objecte eintreten können, der Sterne zum Beispiel o auch weit entfernter Berge und Gebäude. Denn solche Objecte sind no
599 wendig auch grofs, und jede Richtungslinie, die durch irgend einen Pu unseres Kopfes oder auch unseres Körpers geht, parallel einer bestimmt Richtung, wird das Object treffen.

Die Richtung, in der die Objecte des Sehfeldes liegen, wird im A gemeinen, abgesehen von den schon bisher besprochenen Täuschung bestimmt sein, sobald erstens die Richtung der Blicklinie und zweitens Richtung irgend eines durch den Blickpunkt gehenden Meridians gegeben

Die Richtung, in welcher der Blickpunkt liegt, wechselt mit der Stellu des Auges gegen den Kopf, beziehlich gegen den Körper; indessen sind im Allgemeinen im Stande, die jedesmalige Richtung der Blicklinie rich zu beurtheilen. Man hat die Empfindungen, auf denen die Wahrnehmu der durch Muskelwirkung veränderten Stellung der Theile unseres Körp beruht, das Muskelgefühl genannt. Unter diesem Ausdruck sind al mehrere wesentlich verschiedene Empfindungen von einander zu trenn Wir können nähmlich wahrnehmen

1. die Intensität unserer Willensanstrengung, durch welche die Muskeln in Wirksamkeit zu setzen suchen;
2. die Spannung der Muskeln, also die Kraft, mit der diese zu wirk streben;
3. den Erfolg der Anstrengung, der, abgesehen von seiner Wa nehmung durch andere Sinnesorgane, namentlich Gesicht und Geta am Muskel sich äufsert durch wirklich eintretende Verkürzung, wo auch an den Gliedern veränderte Spannung der sie bedeckenden H möglicher Weise wahrgenommen werden kann.

Ich kann bei sehr ermüdeten Muskeln zum Beispiel im Stande sein, ahrzunehmen, dafs ich den äufsersten Grad von Willensanstrengung aufbiete, m die Muskeln in Spannung zu versetzen, dafs aber deren Spannung nicht iehr genügend ist, den Erfolg zu erreichen. Andererseits kann ich bei räftigen Muskeln durch eine mäfsige Willensanstrengung eine deutlich fühl-are Spannung der Muskeln hervorbringen, ohne doch wegen irgend eines ufseren Widerstandes den Erfolg zu erreichen, den ich wünsche. Alle iese Fälle unterscheiden sich in meiner Wahrnehmung von dem Falle, wo ch den Erfolg wirklich erreiche, und wir müssen diese verschiedenen Um-tände auch in der Theorie des Muskelgefühls unterscheiden.

Wir beschränken uns in der vorliegenden Untersuchung natürlich auf ie beim Auge vorkommenden Verhältnisse.

Zunächst zeigen bekannte Erfahrungen, dafs wir die Richtung unseres Blicks nicht nach der wirklich vorhandenen Stellung unseres Auges beur-theilen, wenn dieselbe durch andere Kräfte als die unserer Muskeln ver-ändert ist. Wenn man auf den von den Lidern bedeckten Theil des Aug-apfels drückt, oder die den Augapfel umgebende Haut zerrt, so werden dadurch kleine Aenderungen in der Stellung des Augapfels selbst hervor-gebracht. Am besten gelingt dies dadurch, dafs man am äufseren Augen-winkel eine Hautfalte zusammenkneift und dann das Auge nach innen wendet, so dafs die den Augapfel bedeckende Bindehaut an der äufseren Seite gespannt wird. Oeffnet man beide Augen, indem man an der Hautfalte zerrt, so erhält man Doppelbilder, indem das Bild des gezerrten Auges *600* nach einer anderen Richtung hin verlegt wird, als das Bild des andern, und öffnet man nur das erstere Auge, so sieht man bei jedem Zuge an der Hautfalte eine Scheinbewegung der Gegenstände im Gesichtsfelde eintreten. Jeder gerade nach aufsen am rechten Auge gerichtete Zug läfst die Gegen-stände scheinbar nach links hin weichen. Die Richtung der Gesichtslinie wird hierbei nach rechts hin verschoben; wir beurtheilen aber die Lage der Gegenstände so, als wenn durch die Zerrung die Richtung der Gesichtslinie unverändert bliebe.

Dem entsprechend zeigt sich, dafs die Lage der Nachbilder, im ge-schlossenen Auge oder auf einen gleichmäfsigen unbegrenzten Schirm projicirt, bei der Zerrung scheinbar unverändert bleibt, während diese Bilder wirklich mit dem Auge bewegt werden.

Dagegen läfst auch während einer solchen Zerrung jede durch die Muskeln hervorgebrachte Bewegung der Augen die scheinbare Lage der äufseren Gegenstände unverändert, während die Nachbilder sich scheinbar bewegen.

Wenn wir so durch einen äufserlichen Zug den Augapfel nach aufsen rollen, wird natürlich der innere gerade Muskel desselben um ebenso viel gedehnt und der äufsere um ebenso viel kürzer, als wenn eine solche Rollung durch Muskelwirkung geschieht. Denn die Muskeln sind auch im ruhenden Zustande elastische Bänder, welche sich stets so weit verkürzen, als es die Lage ihrer Befestigungspunkte erlaubt.

Wir beurtheilen also die Richtung unserer Gesichtslinie weder nac der wirklichen Stellung des Augapfels, noch nach der von ihm abhängig wirklichen Verlängerung oder Verkürzung der Augenmuskeln.

Dafs wir die Richtung der Gesichtslinie auch nicht nach der Spannu der Augenmuskeln beurtheilen, geht daraus hervor, dafs in solchen Fälle wo Lähmungen einzelner Augenmuskeln plötzlich eingetreten sind, d Patienten, wenn sie ihr Auge nach einer Richtung zu bewegen strebe nach der sie es nicht mehr bewegen können, Scheinbewegungen sehen, d bei gleichzeitig geöffnetem anderen Auge Doppelbilder hervorbringen. We also zum Beispiel der äufsere gerade Muskel des rechten Auges oder se Nerv gelähmt ist, so kann das Auge nicht mehr nach der rechten Sei herübergezogen werden. So lange der Patient es nur nach der innere Seite wendet, macht es noch regelmäfsige Bewegungen, und er nimmt d Richtung der Objecte im Gesichtsfeld richtig wahr. Sobald er versucht nach aufsen, also nach rechts hin zu wenden, folgt es seinem Willen nic mehr, sondern bleibt in der Mitte stehen und die Objecte bewegen sic scheinbar nach rechts, obgleich die Stellung des Auges und der Netzhau bilder im Auge unverändert bleibt.

In einem solchen Falle eines gelähmten Muskels tritt in Folge de Willensanstrengung weder Bewegung des Auges, noch Verkürzung der z verkürzenden Muskeln, noch auch erhöhte Spannung in diesen Muskeln ei Der Willensact hat aufserhalb des Nervensystems gar keine Folgen meh und doch urtheilen wir über die Richtung der Gesichtslinie so, als hät der Wille die normalen Wirkungen ausgeübt; wir glauben, dafs die Gesichts linie sich in dem letztgenannten Falle nach rechts verschoben habe, und d die Lage der Netzhautbilder auf der Netzhaut des gelähmten Auges hierb unverändert bleibt, erscheint uns das so, als machten die Objecte die ir thümlich vorausgesetzte Bewegung des Augapfels mit.

Ist die Lähmung nicht vollständig, so dafs das Auge zwar noch ein nac aufsen liegendes Object fixiren kann, dazu aber einen gröfseren Aufwand vo Innervation des gelähmten Muskels bedarf, als im normalen Zustande, s tritt doch eine falsche Vorstellung von der Richtung der Gesichtslinie un von der Lage des Objectes ein, wie man dadurch erkennen kann, dafs ma den Patienten schnell nach dem Objecte greifen läfst. Er greift dann zuers daneben.[1]

Diese Erscheinungen lassen keinen Zweifel darüber, dafs wir die Richtun der Gesichtslinie nur beurtheilen nach der Willensanstrengung, mittels de wir die Stellung der Augen zu ändern suchen. Es giebt zwar auch gewiss schwache Empfindungen in unseren Augenlidern, wenn sich die Hornhau unter ihnen verschiebt, welche uns über die wirkliche Stellung des Auge einigermaafsen unterrichten könnten, und ferner fühlen wir bei angestrengte

---

[1] A. v. GRAEFE im *Archiv für Ophthalmologie*, Bd. I. Abth. I, S. 67. Anmerkung. — A. NAGEL, *Da Sehen mit zwei Augen*, 1861, S. 124—129. ALFRED GRAEFE im *Archiv für Ophthalmologie*, XI. 2. S. 6–16.

enbewegungen der Augen eine ermüdende Spannung in den Muskeln, r alle diese Empfindungen scheinen zu schwach und zu unbestimmt zu als dafs sie für die Wahrnehmung der Richtung verwerthet werden nten.

Wir wissen also, welche Willensimpulse und wie stark wir sie anzuwenden en, um das Auge in eine bestimmte beabsichtigte Stellung zu versetzen. unter den gewöhnlichen normalen Umständen sich der Bewegung des es keine fremden Hindernisse entgegensetzen, so kann auch meistens aus Stärke des Willensimpulses der Effect genügend beurtheilt werden, viel ständiger wenigstens, als dies bei den Extremitäten und den meisten ern beweglichen Theilen des Körpers möglich sein würde. Die einzige kung des Willensimpulses, die wir am Auge direct und hinreichend tlich wahrnehmen, ist die veränderte Lagerung der Objecte im Sehfeld der neuen Stellung des Auges. Es läfst sich nun zeigen, dafs wir in That diese Veränderungen des Bildes fortdauernd als Controlle für das tige Verhältnifs der Willensimpulse zu ihrem Effecte benutzen.

Man setze sich zwei Glasprismen von 16 bis 18 Grad brechenden kels in ein Brillengestell zusammen, so dafs die brechenden Winkel ler nach links gekehrt sind. Die Gegenstände des Gesichtsfeldes erscheinen ch diese Prismen alle nach links von ihrem wirklichen Orte abgelenkt. vermeide es zunächst, die Hand in das Gesichtsfeld zu bringen, betrachte irgend ein bestimmtes erreichbares Object genau, schliefse dann die en und versuche mit geschlossenen Augen das Object mit dem Zeige- er zu treffen; man wird natürlich links daneben vorbeifahren. Wenn aber diese Versuche eine Weile fortgesetzt hat, oder noch schneller, n man die Hand in das Gesichtsfeld bringt und mit ihr kurze Zeit lurch unter Leitung des Auges die Objecte betastet, so wird man finden, man bei Wiederholung des erst beschriebenen Versuchs nicht mehr beifährt, sondern die Objecte richtig trifft; ebenso auch neue Objecte, 602
man an Stelle der schon bekannten bringt. Hat man dies erreicht und sucht man nun, nachdem man die Hand aus dem Gesichtsfelde entfernt, die men weggenommen und irgend ein Object angeblickt hat, dies bei chlossenen Augen zu greifen, so wird man finden, dafs man jetzt mit der nd rechts vorbeifährt, bis durch mehrere vergebliche Versuche die Be- eilung der Richtung, in der die Augen stehen, wieder berichtigt ist.[1]

Dafs hierbei nicht etwa das Muskelgefühl der Hand und die Beurtheilung deren Ort, sondern die Beurtheilung der Blickrichtung gefälscht wird, ebt sich daraus, dafs, wenn man, durch die Prismen blickend, sich öhnt hat, mit der rechten Hand die gesehenen Objecte zu treffen, und die mit der rechten Hand berührten Objecte nun bei geschlossenen en mit der linken, vorher gar nicht benutzten und nicht im Gesichtsfelde esenen Hand zu treffen sucht, man sie ganz sicher und richtig trifft.

---

[1] Der Versuch ist von CZERMAK im Wesentlichen ähnlich angegeben in *Wien. Berichte.* XVII, 577.

Man bestimmt also in einem solchen Falle durch das Tastgefühl den (vollkommen richtig und weiſs ihn nach dieser Angabe durch ein andei tastendes Organ sicher zu finden.

Daſs vierteljährige Kinder erst sehr langsam lernen ihre Hände na Gesichtsobjecten hin zu dirigiren, wenn sie schon sehr gut wissen, sie na dem Munde oder nach einer juckenden Hautstelle, also mittels Ta empfindungen, zu lenken, lehrt die Erfahrung. Wie also hier die Uebere stimmung zwischen Augenbewegungen und Handbewegungen erst durch V suche gelernt wird, so muſs ihre Genauigkeit auch bei Erwachsenen du immer erneute Versuche und Beobachtungen fortwährend controllirt werd

Ich habe schon früher angeführt, daſs die Uebereinstimmung der] wegungen beider Augen in ähnlicher Weise gestört werden kann, wenn n durch ein Prisma das Bild des einen Sehfeldes allmählich in die Hi schiebt; dann folgt das betreffende Auge, und beide Augen fahren i einfach zu sehen, während das eine etwas mehr nach oben gerichtet ist das andere. Auch hier kommt es schnell zur Gewöhnung, diese Stellung die normale Fixationsstellung zu benutzen; und wenn man die Prismen f nimmt, fährt man fort in derselben Weise zu fixiren, wobei man ü einander stehende Doppelbilder der Objecte erhält, die sich erst bei ei Aenderung der Augenstellung schnell wieder vereinigen. Es zeigt s hierbei, daſs auch die übereinstimmende Stellung beider Augen nach d Erfolg geregelt wird, indem man sich gewöhnt, solche Willensimpulse geben, welche geeignet sind, unter den obwaltenden Umständen beide Fixatio punkte auf dasselbe Object zu richten.

Es gehört hierher ferner die Erfahrung, daſs, wenn man bewegte Obje längere Zeit zu fixiren bemüht gewesen ist, nachher ruhende Objecte in entgegengesetzten Richtung bewegt erscheinen. Man bezeichnet das Se dieser Scheinbewegungen als Schwindel. Wenn man zum Beispiel in ei Eisenbahnzug fährt und eine Weile nach den drauſsen dicht an der B befindlichen Gegenständen geblickt hat, dann aber den Blick auf den F
603 boden des Wagens wirft, so erscheint dieser, der sich zum Körper Reisenden in relativer Ruhe befindet, in Richtung des Zuges von ihm zu fliehen.

Es erklärt sich dies daraus, daſs die Gegenstände an der Bahn (scheinbare, der des Zuges entgegengesetzte Bewegung haben. So oft Reisende einen derselben zu fixiren sucht, muſs er seine Augen schnell Richtung des Zuges entgegen bewegen. Nachdem er sich gewöhnt hat, unter diesen Umständen ausgeübten Willensimpulse als die für die Fixa eines Objects geeigneten zu betrachten, versucht er in derselben Weise a ruhende Objecte zu fixiren. Die genannten Willensimpulse bringen a Bewegungen der Augen hervor, und da der Beobachter seine Augen festgestellt hält, so scheinen sich ihm nun die Objecte und zwar der vo angeschauten objectiven Bewegung entgegengesetzt zu bewegen.

Wenn man dagegen, während man aus dem Wagen blickt, etwa

iktchen in der Fensterscheibe dauernd fixirt, so kommt der beschriebene sichtsschwindel nicht zu Stande, obgleich man wie vorher bewegte Objecte vorbeifliegen sehen, aber ohne die zu ihrer Fixation nöthigen Bewegungen machen. Bei ganz fester Fixation eines zum Auge relativ ruhenden ıktes verwischen sich übrigens auch die Bilder der bewegten Objecte voll-ndig bei der für diese Täuschung nöthigen Geschwindigkeit. Man kann se nur erkennen, wenn man ihnen kurze Strecken mit den Augen folgt. dazu nöthigen Augenbewegungen bleiben meist unbewufst, und sie sind halb von Plateau[1] und Oppel,[2] welche über diese Erscheinungen Beob-tungen angestellt haben, nicht bemerkt worden. Dafs aber solche Augen-vegungen vorhanden sind, folgt aus dem Umstand, dafs bei absolut fester ation die bewegten Bilder sich verwischen.

Dasselbe beobachtet man bei dem Drehschwindel, wenn man sich mit nen Augen eine Weile um seine eigene Längsaxe gedreht hat. So wie n anhält, scheinen die Objecte sich noch eine Zeitlang in der Richtung zubewegen, in der man sich gedreht hat. Ich finde, dafs nach einer ehung mit geschlossenen Augen diese Art der Scheinbewegung nicht eintritt, bald man die Augen erst öffnet, wenn man wirklich bis zum festen Stehen kommen ist. Thut man es früher, so tritt eine Scheinbewegung der Gegen-nde entgegengesetzt der bisherigen Drehung des Körpers ein; aber man erzeugt sich auch leicht, dafs der Körper auf den Füfsen noch etwa eine ertelkreisdrehung ausführt, ehe er wirklich zu Ruhe kommt, zu einer Zeit, man ihn schon für ruhend hält. Dann ist also eine Täuschung über die ltung des Körpers Ursache der Scheinbewegung der Objecte. Zuweilen mmt übrigens auch diese der objectiven Drehung des Körpers entgegen-etzte Schwindelbewegung nach der Drehung mit offenen Augen zum rschein, wie denn überhaupt dieser Versuch nicht so rein ist wie die dern, bei denen der Körper des Beobachters nicht mitbewegt wird.

Es kommen auch solche Arten von Gesichtsschwindel vor, wo verschiedene
eile des bewegten Körpers verschieden gerichtete Bewegung gehabt haben. 604
enn man z. B. die in *Fig. 196*, S. 531 dargestellte Scheibe mit der Spirale iren läfst, so scheint die Spirale, je nach der Richtung ihrer Drehung, sich weder fortdauernd auszudehnen oder zusammenzuziehen. Hält man die eibe plötzlich an, so scheint sie nachher sich einen Augenblick zusammen-ziehen, wenn sie sich vorher ausdehnte, oder auszudehnen, wenn sie sich rher zusammenzog. Und auch andere Objecte, z. B. ein bedrucktes Blatt pier, was man unmittelbar nach der Spirale betrachtet, zeigen eine solche ntractions- oder Dilatationsbewegung.

Viel weniger deutlich ist eine ähnliche Schwindelbewegung, die sich nach blick einer rotirenden sternförmigen Figur einstellt, und wobei der objectiv ende Körper, den man betrachtet, sich ein wenig in entgegengesetzter chtung zu drehen scheint, als der Stern.

---

[1] Plateau in *Poggendorffs Annalen*, LXXX, 287. — *Bull. de Bruxelles* XVI.
[2] Oppel ebenda, XCIX, 543.

Am deutlichsten werden diese letztern Scheinbewegungen, wenn man d Blick nach dem ruhenden Mittelpunkte der Axe richtet, dabei aber im indirect Sehen auf die bewegte Figur achtet, welche nicht so schnell rotiren da dafs man ihre einzelnen Züge nicht mehr wahrzunehmen im Stande wä aber auch nicht so langsam, dafs man sie ganz ohne Schwierigkeit wah nimmt. Wenn man ganz scharf den Mittelpunkt der Axe fixirt und nur a diesen achtet, so hat man allerdings auf den Seitentheilen der Netzha ebenso wie vorher, die bewegte Figur, aber die Schwindelbewegung tr nicht ein. Es scheint mir daraus hervorzugehen, dafs bei diesem Acht auf die bewegte Figur leise Augenbewegungen im Spiele sind, wahrscheinli kreisförmige Bewegungen, deren Richtung immer auf denjenigen Theil d Sehfeldes hinzielt, auf den die Aufmerksamkeit des indirecten Sehens gera gerichtet ist. In der That würde ohne solche Bewegungen, die der bewegt Figur nachfolgen, die letztere nicht ganz so deutlich erscheinen können, sie es bei derjenigen Art des Anblickens thut, die den Schwindel entwicke Wenn dieselbe Art des Blickens nachher auf einen ruhenden Gegensta angewendet wird, mufs dieser natürlich eine entgegengesetzte Scheinbewegu zeigen.

So lange wir eine grofse Zahl ruhender Gesichtsobjecte vor uns habe ist es leicht, an diesen fortdauernd sich über den Grad der Innervation vergewissern, der nöthig ist, um das Auge in bestimmten Stellungen fe zuhalten. Wenn man dagegen überwiegend bewegte Massen vor sich hat, es schwer, das Urtheil über Ruhe und Bewegung richtig zu erhalten. We man auf einem Balken über einen schnell fliefsenden Bach gehen will, mu man vermeiden, nach dem Wasser zu sehen, um nicht das Gleichgewicht verlieren. Wenn man auf einem der unteren Gerüste des Schlosses Lauf an den Rheinfall herantritt und nichts vor sich sieht als die stürzende Wasse masse, so entsteht eine Neigung hintenüber zu fallen. Eben deshalb wi man auf Schiffen so verwirrt in der Orientirung; man fühlt den Zug d Schwere scheinbar bald nach rechts, bald nach links, bald nach vorn od nach hinten gehend, weil man die Richtung der Verticale nicht mehr finden weifs. Nach längerer Gewöhnung erst lernt man, wie ich an n selbst erfahren habe, die Schwerkraft als Orientirungsmittel brauchen, u
605 dann hört auch der Schwindel auf. Dem Neuling scheint in der Cajü eines Schiffs das in Cardanischer Aufhängung befestigte Barometer h und her zu schwanken, welches in Wirklichkeit immer senkrecht hängt, d Cajüte dagegen festzustehen, während ihn selbst die Schwerkraft bald hie bald dorthin zerrt. Sobald man den Schwindel verloren hat, sieht man d Barometer feststehen und die Cajüte schwanken. Wie sehr aber hierbei d Sicherheit der Innervation der Augenmuskeln zeitweilig leidet, zeigt si daran, dafs Passagiere, die seekrank waren, sogar nachher am Lande, b jeder schnellen Bewegung der Augen die Wände des Zimmers, in dem s sich befinden, scheinbar dieselben Bewegungen ausführen sehen, welche d Cajüte des Schiffs zu machen pflegte.

Alle diese Erscheinungen lassen deutlich erkennen, dafs eine fort-
ıernde Controlle der für die Augenstellungen und Augenbewegungen
hwendigen Innervationsstärke durch die Beobachtung ihres Erfolgs an
ı Gesichtsbildern stattfinden mufs, wenn richtige Urtheile über die Richtung
r Gesichtslinie und der fixirten Gegenstände gefällt werden sollen.

Eine andere Art von Täuschung, die hierher gehört, hat F. ZÖLLNER[1]
schrieben. Man zeichne auf ein Blatt Papier einen Kreis und schneide in
ı anderes dunkles und steifes Blatt einen Schlitz, der länger ist als der
ırchmesser des Kreises und dessen Breite $^1/_{10}$ bis $^3/_{10}$ dieses Durch-
ssers beträgt. Man halte das Blatt mit dem Schlitz fest und schiebe
ter ihm das Blatt mit dem Kreise hin und her, so dafs der Kreis selbst
ıter dem Schlitz sich vollständig vorbeischiebt, bald in der einen, bald in
r anderen Richtung. Unter diesen Umständen erscheint der Kreis wie
ıe Ellipse, deren gröfsere Axe senkrecht zur Richtung der Bewegung
stellt ist. Der Grund davon ist darin zu suchen, dafs der Beobachter,
lem er die bewegte Figur zu sehen sich bestrebt, unwillkührlich und ohne
deutlich zu wissen, ihr mit den Augen folgt, aber mit geringerer Ge-
ıwindigkeit. Dadurch entstehen nach einander auf den verschiedenen
reifen der Netzhaut, auf denen der Spalt während dieser Bewegung sich
bildet, Eindrücke von dem gerade vorliegenden Stücke des Kreises gerade
e bei dem Anorthoskop, nur dafs bei diesem der Spalt selbst bewegt,
s Auge ruhig ist, während hier das Auge bewegt ist und der Spalt still-
ht. Der optische Eindruck ist hierbei derselbe, als ob der Spalt sich in
tgegengesetzter Richtung wie das Auge bewegte, also auch entgegengesetzt
m bewegten Bilde, und dies giebt im Anorthoskop, wie oben S. 498—500
seinandergesetzt ist, eine scheinbare Verkürzung der Figur nach der
chtung der Bewegung.

Dafs Augenbewegungen der Grund dieser Täuschung sind, kann man
raus erkennen, dafs man bei der Geschwindigkeit, welche die Täuschung
ı besten zeigt, überhaupt nichts mehr von der Figur erkennen kann,
bald man ganz fest einen Punkt am Rande des Spalts fixirt. Um die Figur
kennen zu können, mufs man ihr eben mit dem Auge folgen. Aufserdem
nn ein zweiter Beobachter auch solche Augenbewegungen bemerken, wie
LLNER gefunden hat.

Wenn man den Kreis sehr langsam hinter dem Spalte vorbeizieht, so 606
scheint er im Gegentheil in Richtung der Bewegung verlängert zu sein.
ıs mag davon herrühren, dafs die Theile der Begrenzungslinie, welche im
alte erscheinen, wegen der scheinbaren Vergröfserung der spitzen Winkel
iler gegen die Seiten des Spaltes zu stehen scheinen, als sie wirklich
ıd. Dasselbe würde aber in Wirklichkeit der Fall sein, wenn eine quer ver-
ngerte Ellipse hinter dem Spalt vorbeigezogen würde, daher der Beobachter
nn die Figur als eine solche Ellipse deutet.

---

[1] F. ZÖLLNER, Ueber eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilder in *Poggendorff's Annalen*, 1862.

Nachdem wir uns durch die vorher beschriebenen Thatsachen überzeugt haben, dafs die Uebereinstimmung zwischen den Wahrnehmungen durch das Gesicht und denen des Tastsinns auch beim ausgebildeten Auge eines Erwachsenen dauernd nur durch die fortlaufende Vergleichung mit der Erfahrung erhalten wird, erledigt sich die so übermäfsig viel behandelte Frage über den Grund, warum wir die Gesichtsobjecte aufrecht sehen trotz des verkehrten Netzhautbildes, ganz von selbst. Der Tastsinn an und für sich ist fähig, vollständige Raumanschauungen auszubilden, selbst ohne alle Hilfe durch den Gesichtssinn; wir wissen dies durch die Erfahrungen an blindgeborenen Personen. Ja, die Richtung der Schwere, welche das Oben und Unten bestimmt, wird sogar ausschliefslich durch den Tastsinn und nicht durch den Gesichtssinn unmittelbar wahrgenommen. Dafs die Gesichtsempfindungen an und für sich, ohne alle vorausgängige Erfahrung Vorstellungen von einer bestimmten Richtung des Gesehenen hervorrufen sollen, ist eine, wie mir scheint, vollkommen unnöthige Hypothese, und noch weniger begründet ist vom Standpunkte der empiristischen Ansicht aus die Voraussetzung, dafs die Vorstellung der Richtung hierbei sogar beeinflufst sein soll durch den Ort, wo sich das Bild auf der Netzhaut befindet, dafs ein unten abgebildeter Punkt auch deshalb unten erscheinen müfste, während doch das natürliche Bewufstsein nicht einmal von der Existenz einer Netzhaut oder optischer Bilder auf ihr, geschweige denn von der Lage derselben etwas weifs.

In der nativistischen Theorie der Sinneswahrnehmungen, wo man voraussetzt, dafs die Nervenreizung auch unmittelbar und unabhängig von aller Erfahrung die Vorstellung eines gewissen Orts des wahrgenommenen Objects hervorbringen soll, mufs allerdings vorausgesetzt werden, dafs die angeborenen Localisationen durch das Gesicht in einer gewissen angeborenen Uebereinstimmung mit denen durch den Tastsinn sich befinden, sei es nun, dafs man sich denkt, die Sehnervenfasern, welche von den unteren Seiten der Netzhäute kommen, wendeten sich im Gehirn nach oben, und es entstände dort ein richtig gestelltes Bild der Objecte, was die Seele anschaute, oder dafs man das Anschauen in den Netzhäuten vor sich gehen läfst und die Tastwahrnehmungen entsprechend den auch verkehrt gesehenen eigenen Händen und Beinen des Beobachters ebenfalls verkehrt in dieses Anschauungsbild eintragen läfst, wo dann also alle unsere Raumvorstellung verkehrt sein und bleiben würde. Es ist hier natürlich der weiteste Spielraum für die wildesten Hypothesen eröffnet.

Ich meine, dafs eine angeborene Uebereinstimmung der Localisationen durch den Gesichtssinn und Tastsinn den Erfahrungen gegenüber, welche die
607 Wirksamkeit der fortdauernden Controlle für die richtigen Beziehungen beider Sinne auf einander durch die Erfahrung beweisen, nicht festgehalten werden kann, weil man sonst in die Schwierigkeit kommt, dafs die angeblich angeborene und durch unmittelbare Empfindung gegebene Uebereinstimmung jeden Augenblick durch Erfahrung, also durch Urtheilsacte so verändert und

erwältigt werden kann, dafs von dieser hypothetischen Empfindung sich gar chts mehr merklich macht.

Meines Erachtens hat der Streit über den Grund des Aufrechtsehens r das psychologische Interesse zu zeigen, wie schwer selbst Männer von deutender wissenschaftlicher Befähigung sich dazu verstehen, das subjective oment in unseren Sinneswahrnehmungen wirklich und wesentlich anzuzennen und in ihnen Wirkungen der Objecte zu sehen, statt unveränderter bilder *(sit venia verbo)* der Objecte, welcher letztere Begriff offenbar sich lbst widerspricht.

Wir haben bisher nur untersucht, in welchen Richtungen wir weit entnte Objecte zu sehen glauben; es bleibt noch übrig, das Centrum zu stimmen, auf welches diese Richtungslinien bezogen werden, was namentlich die Beurtheilung der Richtung naher Objecte nicht gleichgültig ist. Gehnlich ist früher die Annahme gemacht worden, dafs jedes Auge die ehenen Gegenstände in Richtung der auf Seite 91 definirten Richtungsen nach aufsen setze, wonach dann die Richtungen, in denen nahe genstände gesehen werden, im Allgemeinen für beide Augen verschieden n würden. In dieser Beziehung hat E. Hering auf eine merkwürdige uschung aufmerksam gemacht, vermöge deren wir die Richtung der geenen Gegenstände so wahrnehmen, als ob beide Augen in der Mittelebene Kopfes ständen und auf ihren gemeinsamen Fixationspunkt gerichtet ren.

Es mögen im Anfang beide Augen A und B, *Fig. 228*, hinausblicken parallelen Richtungen Aa und Bb, Auge B aber möge dann geschlossen den, während A noch immer das ndlich weit entfernte Object a fixirt die Richtungen beider Augen also erändert bleiben. Man sieht a unter sen Umständen in richtiger Richtung. zt accommodire man A für einen näher gelegenen Punkt f der Linie wobei also die Lage des Auges A seiner Gesichtslinie Aa, so wie Ort des Netzhautbildes von a auf Netzhaut des Auges A, ganz unändert bleiben und das Netzhautchen nur etwas weniger scharf renzt wird. Der Erfolg ist, dafs eine Scheinbewegung des Objects a ritt, wodurch es etwa in die Richtung Ac hinüberrückt. So wie man der für unendliche Ferne accommodirt, weicht a scheinbar an seinen en Platz zurück.

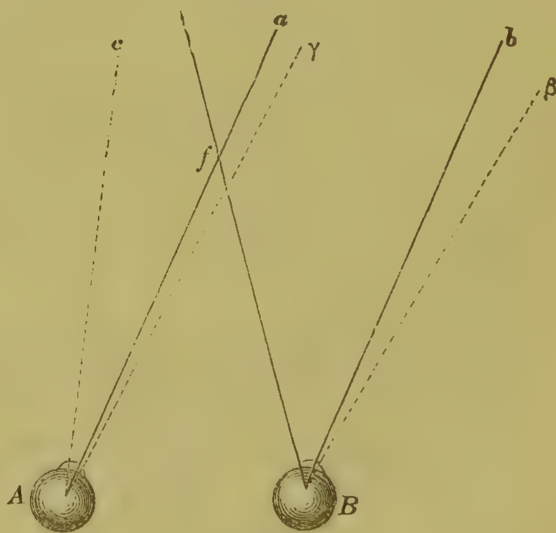


Fig. 228.

Nun verändert sich bei diesem Versuche durchaus nicht die Richtung Gesichtslinie Aa, wenigstens nicht um eine bemerkbare und in Betracht 608

kommende Gröfse, sondern nur die Stellung des verschlossenen Auges B verändert sich, weil bei dem Streben, für den Punkt f zu accommodiren, sich gleichzeitig auch die andere Gesichtslinie auf f hinrichtet. Die Gesichtslinie des Auges B kommt also, während f fixirt wird, in die Richtung Bf.

Umgekehrt ist es mir möglich, meine Gesichtslinien etwas divergent zu machen auch bei geschlossenen Augen, so dafs das Auge B in der Richtung $B\beta$ blickt. Diese Divergenz kann ich nur langsam erreichen und sehe deshalb keine deutliche Scheinbewegung. Dagegen tritt eine solche ein, wenn ich mit der Anstrengung für die Divergenz plötzlich nachlasse und nun die Gesichtslinien in parallele Stellung zurückspringen. Dabei sehe ich dann das Object a etwa aus der Stellung γ nach a zurückweichen.

Es hat also nicht nur die Stellung des sehenden Auges A, sondern auch die des geschlossenen Auges B Einflufs auf unsere Beurtheilung der Richtung, in der der fixirte Gegenstand liegt. Wenn das geöffnete Auge unbeweglich stehen bleibt, das geschlossene Auge sich aber nach rechts oder links bewegt, bewegt sich scheinbar auch der vom geöffneten Auge fixirte Gegenstand nach rechts oder links.

Für meine beiden Augen ist die Gröfse dieser Scheinbewegung ziemlich verschieden; sie ist gering, wenn das rechte geöffnet ist und fixirt, viel gröfser, wenn das linke geöffnet, das rechte geschlossen ist. Die Richtung der Gesichtslinie wird also nach den Innervationen, welche auf beide Augen gleichzeitig ausgeübt werden, bestimmt und nicht allein nach der des geöffneten Auges. Dabei dürfen wir wohl vermuthen, dafs die scheinbare Richtung der Gesichtslinie im Allgemeinen der mittleren Richtung der Gesichtslinien beider Augen entspricht, wobei aber bei Leuten, die gewöhnt sind, beim Mikroskopiren und Teleskopiren ein Auge vorzugsweise zu gebrauchen, die scheinbare Richtung sich der wahren Richtung der Gesichtslinie des bevorzugten Auges mehr annähert, als der des andern Auges. Genauere Aufschlüsse über die scheinbare gleichzeitige Richtung beider Gesichtslinien werden wir später durch das Phänomen der Doppelbilder erhalten.

Ich habe nun gefunden, dafs auch für die scheinbare Lage des Netzhauthorizonts eine ähnliche Abhängigkeit von den Raddrehungen beider Augen besteht, wie für die scheinbare Richtung der Gesichtslinie.

Die darauf bezüglichen Versuche gelangen mir selbst am einfachsten in folgender Weise. Ich spannte über das eine Ende einer cylindrischen Röhre von etwa einem Fufs Länge einen schwarzen Faden als Durchmesser aus, nahm das andere Ende der Röhre vor ein Auge, während das zweite Auge geschlossen war, hielt vor das entferntere Ende der Röhre ein weifses Blatt Papier, so dafs ich nichts von den Gegenständen des Zimmers sah, und suchte nun den schwarzen Faden durch Drehung der Röhre um ihre Längsaxe möglichst genau horizontal oder vertical zu stellen, und zwar mit parallel gerichteten Blicklinien, eine Bedingung, die ich auch bei verschlossenem zweiten Auge zu erfüllen gelernt habe. Wenn ich dann das

weifse Papier von dem vorderen Ende der Röhre wegzog, konnte ich die Richtung, welche ich dem Faden gegeben hatte, mit der Richtung verschiedener objectiver horizontaler und verticaler Linien vergleichen, die sich im Zimmer vorfanden. Ich setzte mich bei diesen Versuchen fest auf einen Lehnstuhl und bog den Kopf bald vornüber, bald hintenüber, oder hielt ihn vertical, während die Röhre immer horizontal gehalten, dabei aber bald gerade aus, bald nach rechts, bald nach links gerichtet wurde, so dafs sich dabei die Blicklinie nach einander in alle möglichen Lagen gegen den Kopf einstellte. 609

Es zeigte sich, dafs ich in allen diesen Stellungen, soweit das Auge sich ohne fühlbaren Zwang bewegen konnte, bei parallelen Blickrichtungen die horizontal erscheinende Linie wirklich horizontal stellte und die vertical scheinende nur um einen solchen Winkel von der wirklich verticalen abweichen liefs, wie der scheinbar verticale Meridian des betreffenden Auges vom wirklich verticalen abweicht.

Es geht also namentlich aus diesen Versuchen hervor, dafs keineswegs in jeder Stellung des Auges der ursprünglich horizontale Meridian, den wir Netzhauthorizont genannt haben, immer für horizontal und der darauf senkrechte für vertical gehalten wird.[1] Im Gegentheil bei seitlich und stirnwärts oder wangenwärts gerichtetem Blick kann der Netzhauthorizont Winkel bis zu zehn Graden mit der Horizontalebene machen, und doch wird auch dann eine wirklich horizontale und in der horizontalen Visirebene liegende Linie für horizontal gehalten.

Anders gestaltet sich die Sache, wenn man die Augen convergiren läfst. Man schaue bei hintenüber gebogenem Kopfe durch das horizontal geradeaus gerichtete Rohr und richte den Faden bei parallelen Gesichtslinien horizontal. Prüft man seine Richtung, so findet man ihn dann, wie gesagt, wirklich horizontal. Jetzt fixire man einen Punkt des Fadens selbst, oder accommodire möglichst für die Nähe, während die Richtung des Blicks unverändert bleibt. Sogleich erleidet der Faden eine sehr auffallende scheinbare Drehung, und zwar in dem Sinne, wie sich der Netzhauthorizont des anderen Auges des Beobachters dreht, indem dieses Auge aus der Parallelstellung in die Convergenzstellung übergeht. Blickt man also zum Beispiel bei hintenüber gebogenem Kopfe mit dem rechten Auge horizontal gerade aus, so senkt sich bei eintretender Convergenz das rechte Ende des Fadens scheinbar, während sich das linke hebt. Bei vornüber gebogenem Kopfe ist es umgekehrt. Umgekehrt auch für das linke Auge. Soll der Faden bei convergenten Augen horizontal erscheinen, so mufs die Röhre um einige Grade im entgegengesetzten Sinne seiner scheinbaren Ablenkung gedreht werden, worauf er bei wiederhergestellten parallelen Blickrichtungen nicht mehr horizontal erscheint. Die hierbei anzuwendenden Drehungen der Röhre

[1] Herr E. HERING hat die Regel in dieser Form aufgestellt (*Beiträge zur Physiologie* S. 254), aber er hat nicht in parallelen Augenstellungen experimentirt und nicht in solchen Blickrichtungen, wo sich die Abweichung hätte zeigen können, da sein Fixationspunkt immer in der Medianebene lag.

sind viel bedeutender, als die aufserordentlich kleinen wirklichen Drehunge meines beobachtenden Auges bei eintretender Convergenz des andern (sieh Seite 626) und können durch diese nicht erklärt werden.[1]

610 Wir haben hier vielmehr eine Erscheinung gleicher Art, wie bei de Beurtheilung der Richtung der gesehenen Gegenstände. Trotz der unve änderten Haltung des sehenden Auges bringt die veränderte Richtung un Drehung des nicht sehenden ein verändertes Urtheil über die Richtunge der horizontalen und verticalen Linien hervor.

Da nicht alle Beobachter die Fähigkeit haben, willkührlich ohne en sprechenden Fixationspunkt ihre Augen parallel oder convergent zu stelle habe ich die Methode für parallele Gesichtslinien noch in folgender Weis abgeändert. Vor einer breiten einförmig angestrichenen grauen Wand wurd ein langer schwarzer Faden mit einem kleinen Gewichte vertical aufgehäng An dem Gewichte waren rechts und links noch horizontale Fäden befestig die durch Ringe gingen. Einer dieser Fäden wurde durch ein klein Gewicht gespannt gehalten, der andere war zum Beobachter hingeleitet, d etwa sechs Fufs von dem verticalen Faden entfernt safs, und je nachde der Beobachter diesen Faden anzog oder nachliefs, wurde der vertica Faden etwas nach rechts oder links von der Verticallinie abgelenkt. D Beobachter blickte durch eine cylindrische, horizontal gehaltene Röhre na dem verticalen Faden, so dafs er keine anderen verticalen oder horizonta Linien im Gesichtsfelde hatte, und suchte jenen Faden genau vertical stellen. Das untere Ende des verticalen Fadens bewegte sich vor ein kleinen Scale, an der seine Ablenkung abgelesen werden konnte.

Nach dieser Methode hat Herr Dr. Dastich im Heidelberger physiologisch Laboratorium Versuche angestellt. Sein linkes Auge, welches normalsich war, wurde hauptsächlich gebraucht, da das rechte kurzsichtig ist. U den Faden vertical zu sehen, stellte er das untere Ende desselben st etwas nach rechts, entsprechend dem Sinne der Abweichung des scheinb verticalen vom wirklich verticalen Meridian. Die Abweichung von d Verticale betrug:

Linkes Auge.

Kopf senkrecht, geradeaus sehend:	1° 52′
nach rechts sehend:	2° 4′
nach links sehend:	1° 49′
Kopf vorgebeugt, geradeaus sehend:	1° 37′
rechts oder links sehend:	2° 22′
Kopf zurückgebeugt, geradeaus sehend:	1° 37′
rechts oder links sehend:	2° 7′

Rechtes Auge.

Kopf senkrecht, geradeaus sehend:	— 0° 42′.

[1] Messungsreihen über die Gröfse dieser Winkel konnte ich nicht machen, weil oft wiederh starke Accommodationsanstrengungen mir bald heftiges Kopfweh machen.

Die Schrägstellungen waren alle so weit von der Primärstellung entfernt, als es ohne fühlbare Anstrengung der Augenmuskeln anging. Zwischen den nach unten rechts und nach unten links gekehrten Blickrichtungen hätte sich ein Unterschied von etwa 16° zeigen müssen, wenn immer derselbe Meridian des Auges der verticalen Richtung entspräche; statt dessen war der Unterschied unmerklich klein. Ebenso bei den nach oben rechts und oben links gekehrten Blickrichtungen. Die kleinen Unterschiede, welche sich überhaupt zwischen den Winkeln des linken Auges hier zeigen, mögen von kleinen Unregelmäfsigkeiten der Augenbewegung herrühren, vielleicht 611
auch von dem Umstande, dafs die Blickrichtungen zwar nahehin, aber doch nicht absolut parallel waren. Nach brieflichen Mittheilungen sind die Linien, welche Herr A. Volkmann als senkrecht einstellt, bei parallelen Gesichtslinien weder immer absolut senkrecht, noch mit dem verticalen Meridiane übereinstimmend, sondern scheinen etwa mitten zwischen der Richtung einer absolut verticalen Ebene und der des verticalen Meridians des Auges zu liegen. Herr Volkmann ist kurzsichtiger als Herr Dastich und ich selbst, und es könnte diese Abweichung vielleicht davon herrühren, dafs kurzsichtige Augen überhaupt bei parallelen Blicklinien nicht genau genug sehen, um eine sichere Einübung zu gewinnen.

Die Differenz, welche durch die Convergenzstellungen entsteht, kann man bei diesen Versuchen dadurch nachweisen, dafs man erst den entfernten langen Faden senkrecht einstellt, dann bei derselben Kopfhaltung den in der Röhre ausgespannten Faden, diesen fortdauernd fixirend, und endlich die Stellung beider Fäden vergleicht.

Wenn man endlich mit convergentem Blicke einen Punkt in der Medianebene des Kopfes fixirt, so werden, wie Hering[1] gefunden hat, Linien für horizontal gehalten, welche der Lage des Netzhauthorizonts des betreffenden Auges entsprechen. Er steckte zu dem Ende zwei Cylinder vom Durchmesser des Gesichts in einander, deren Länge etwa 5—6 Zoll betrug. Ueber das vordere Ende eines dieser Cylinder war ein Faden gespannt, dessen Mitte fixirt wurde und der durch Drehung des Cylinders scheinbar horizontal gestellt werden konnte. Die Einstellung wurde 10 bis 20 mal wiederholt und dann das Mittel genommen.

Die beschriebenen Thatsachen zeigen, dafs in Bezug auf die Raddrehungen ein ähnlicher Einflufs beider Augen besteht, wie in Bezug auf die Beurtheilung der Richtungen, und es scheint, dafs man die bisher vorliegenden Thatsachen (die allerdings noch genaueren Messungen unterzogen werden müssen) unter folgende Regel anschaulich vereinigen kann, welche eine Erweiterung des von Hering für die Richtungen des Sehens aufgestellten Princips sein würde.

[1] E. Hering, *Beiträge zur Physiologie* S. 254—256. Die Polemik, welche Herr Hering, auf diesen Versuch gestützt, gegen mein Princip der leichtesten Orientirung geführt hat, und ebenso die Begründung seines dagegen aufgestellten Princips der vermiedenen Scheinbewegung fällt aber zu Boden, weil das Resultat dieses Versuchs mit seinen Angaben nur übereinstimmt, wenn der Fixationspunkt in der Medianebene liegt.

Man denke sich in der Mitte zwischen beiden Augen ein imaginäre mittleres Cyclopenauge, welches auf den gemeinsamen Fixationspunkt beide Augen gerichtet ist, und dessen Raddrehungen nach demselben Gesetz erfolgen, wie die der beiden wirklichen Augen. Man denke sich die Netz hautbilder aus einem der wirklichen Augen in dieses imaginäre Auge über tragen, so dafs Blickpunkt auf Blickpunkt und Netzhauthorizont auf Netz hauthorizont fällt. Dann werden die Punkte des Netzhautbilde nach aufsen projicirt, in der Richtungslinie des imaginäre Cyclopenauges.[1]

Stellen wir also zum Beispiel unser rechtes Auge fest, lassen aber da linke aus paralleler in convergente Stellung übergehen, also sich nach recht
612 bewegen, wobei es im Allgemeinen auch eine Raddrehung machen wird, s müfste sich auch das Cyclopenauge um einen etwa halb so grofsen Wink nach rechts drehen und eine etwa halb so grofse Raddrehung mache Die Folge davon ist, dafs die Gesichtsbilder des rechten ruhenden Auge scheinbar um denselben Winkel verschoben und gedreht werden, wie da Cyclopenauge.

So lange der Fixationspunkt in der Medianebene liegt, erleidet da Cyclopenauge keine Raddrehung, und dem entsprechend erscheinen für al diese Stellungen die Netzhauthorizonte horizontal.

Um die Erklärung dieses sonderbaren Verhaltens zu geben, müssen w uns erinnern, dafs unser natürliches Sehen binocular ist, und dafs wir u mittelbar aus der Erfahrung nur lernen die Lagenverhältnisse von Körper die wir fixiren, zu beurtheilen in Beziehung auf die Lage unseres eigen Körpers, den wir fühlen. Rechts für uns ist ein Körper, der rechts v der Mittelebene unseres Körpers liegt, der aber, wenn er dieser näher a unser rechtes Auge ist, mit schwacher Linkswendung des rechten Auges b starker Rechtswendung des linken gesehen werden kann. Wir gehen nic darauf aus, die Richtung der Objecte gegen jedes einzelne unserer Auge nicht einmal gegen unseren Kopf, sondern vielmehr gegen unseren Rum als den Träger unserer Bewegungsorgane zu beurtheilen. Auf die letzte Beziehung kommt es in praktischer Beziehung wesentlich an.

Das sinnliche Zeichen für ein rechts gelegenes Object ist also nic dafs eines oder beide Augen bei seiner Fixation nach rechts gewendet sin sondern nur, dafs ihre mittlere Richtung nach rechts gewendet ist. D Eindrücke der einzelnen Augen von einander zu sondern, sind wir au nur in wenigen Fällen geübt, nähmlich in denen, wo es praktische Wichtigk hat, wie beim zweiäugigen Sehen von Körpern. Daher sind wir gut geü die gemeinsame mittlere Richtung und Drehung beider Augen wa zunehmen und nach ihr die Lage der fixirten Objecte zu beurtheilen, ab schlecht geübt, die Richtung jedes einzelnen Auges zu beurtheilen od

---

[1] Der wesentliche Unterschied gegen die Regel von HERING ist, dafs ich das Cyclopena Raddrehungen machen lasse, während HERING dessen Netzhauthorizont immer in der Visireb liegen läfst.

überhaupt im Bewufstsein zu trennen, was dem einen oder anderen Auge angehört.

Wenn wir also von Richtung des Sehens reden, so sind wir nicht gewöhnt und nicht geübt die verschiedene Richtung beider Augen von einander zu unterscheiden, und beziehen diese Richtung überhaupt auf die Mittelebene unseres Kopfes, beziehlich unseres Körpers. In diesem Sinne hat HERING Recht, wenn er die Projectionen beider Augen in das Gesichtsfeld auf einen gemeinsamen Mittelpunkt, der zwischen beiden in der Mittelebene des Körpers, in der Gegend des Nasenrückens liegt, bezieht. Es ist dies ein richtiger Ausdruck der Thatsachen, wenn ich es auch nicht, wie der genannte Beobachter, als ursprüngliches Fundament für die Erklärung der Gesichtserscheinungen benutzen möchte, schon deshalb nicht, weil auf einen Theil der hierher gehörigen Erscheinungen die Richtung der Aufmerksamkeit einen merklichen Einflufs hat.

Man blicke mit einem Auge nach einem entfernten Objecte und halte vor den unteren Theil des Gesichtes ein Blatt Papier so, dafs man die eigenen Hände und Arme nicht sehen kann. Man schiebe dann den Zeigefinger der rechten Hand unter dem deckenden Schirme so in die Höhe, als wollte man nach dem gesehenen Gegenstande hinzeigen. Der Finger wird 613
hinter dem Papier links von dem fixirten Gegenstande zum Vorschein kommen, wenn man mit dem rechten Auge hinblickt, rechts, wenn man mit dem linken sieht.

Umgekehrt ist der Erfolg, wenn man nicht nach einem entfernten Objecte, sondern nach einem nahen, etwa einem Pünktchen am Rande des Papierschirmes, blickt und den Finger in gröfserer Entfernung so hervorzuschieben sucht, dafs er gerade hinter diesem Pünktchen erscheine.

Dieser Erfolg entspricht der von HERING aufgestellten Regel. Beim gewöhnlichen unbefangenen Sehen beziehen wir die Sehrichtungen auf unsere Nasenwurzel und schieben den Finger ein zwischen diese und das fixirte Object, wobei er denn in der That nicht in die wirkliche Gesichtslinie zu liegen kommt.

Der hier beschriebene Versuch mifslingt aber auch oft. Wenn ich nämlich meine Aufmerksamkeit auf den Umstand concentrire, dafs ich nur mit dem rechten Auge sehe und lebhaft an den Ort des rechten Auges im Kopfe denke und dann den Finger vorschiebe, um das fixirte Object zu verdecken, so schiebe ich ihn wirklich in der richtigen Richtung vor.

Wir kommen auf die hier besprochenen Erscheinungen noch wieder zurück in der Lehre vom Doppelsehen.

Hierher gehört auch die Erfahrung, die ich oft gemacht habe, dafs, wenn ich bei geschlossenen Augen einen Zeigefinger in die Höhe halte und ihn mit noch geschlossenen Augen zu fixiren suche, ich im Moment des Öffnens Doppelbilder des Fingers sehe, welche parallele oder fast parallele Richtung der Blicklinien anzeigen, wobei diese Linien auf beiden Seiten ungefähr gleich weit am Finger vorbeischiefsen. Sonderbarer Weise erhalte

ich aber eine deutlichere Vorstellung vom Orte des Fingers, wenn ich be geschlossenen Augen seine Spitze mit dem Daumen derselben Hand berühr und reibe. Dann bin ich in der That im Stande, schon bei geschlossenen Lider die Augen so einzustellen, dafs ich den Finger einfach sehe im Augenblicl wo ich sie aufschlage. Dasselbe geschieht auch, wenn ich mit dem Finge einen äufseren festen Körper berühre und betaste.

Wenn nun endlich durch die Vergleichungen der Tast- und Gesicht wahrnehmungen die Kenntnifs der Richtung gewonnen ist, in der wir d gesehenen objectiven Gegenstände zu suchen haben, so ergiebt sich dara auch schliefslich die Localisation der anderweitig entstandenen optische Bilder und subjectiven Erregungen unserer Netzhaut und unseres Sehnerve apparats.

Wir verlegen nähmlich alle Erregungen der Sehnervenfasern nach de Gesetze hinaus in den Raum, dafs wir Lichterscheinungen in denjenig Theilen des Sehfeldes oder beider Sehfelder zu haben glauben, in den körperliche Objecte erscheinen würden, welche im Stande wären, durch i Licht die entsprechenden Stellen der Netzhäute zu beleuchten. D Richtigkeit dieser Behauptung zeigt sich einfach dann, wenn wir subjecti Erscheinungen hervorrufen, während gleichzeitig wirkliche Objecte im G sichtsfelde gesehen werden. Wenn wir z. B. ein Nachbild von der Son im Auge entwickelt haben und nach der Landschaft hinsehen, so deckt si
614 dieses Nachbild mit gewissen äufseren Objecten, welche wir wegen d Existenz des Nachbildes schlechter sehen, als wir sonst gethan hätte Gewisse Theile der Netzhaut sind ermüdet; die Bilder derjenigen äufser Objecte, welche sich darauf abbilden, sind dunkler als sonst. Der Inbeg dieser dunkleren Objecte im Gesichtsfelde ist das Nachbild. Es ist a selbstverständlich, dafs das Nachbild im Gesichtsfelde zusammenfällt m denjenigen Objecten, welche sich auf der ermüdeten Stelle der Netzh abbilden. Ebenso können Schatten entoptischer Objecte, Gefäfsfigur Druckbilder, elektrische Bilder im Gesichtsfelde mit äufseren Objecten z sammenfallen. Eine solche Coincidenz bewirkt allemal, dafs die Empfindu des von aufsen kommenden Lichts gewisser Punkte des Gesichtsfeldes e weder ausgelöscht, oder geschwächt, oder mit anderen subjectiven Lic empfindungen gemischt wird. Indem wir die entsprechende Veränderung dem Aussehen gewisser äufserer Punkte bemerken, kann natürlich die V änderung im Gesichtsfelde nicht anders localisirt werden, als diejenig Punkte, welche verändert erscheinen, schon localisirt sind, und die subject Erscheinung mufs nach denselben Regeln in die Aufsenwelt hinausverl werden, welche als Ergebnifs der Erfahrung für die durch wirkliches äufse Licht wahrgenommenen Punkte erlernt worden sind.

Nun können freilich einzelne subjective Lichterscheinungen auch ganz dunklen Gesichtsfelde vorkommen, wo sie natürlich nach dersell Regel localisirt werden. Wenn sie hier auch nicht mit wahrnehmba Bildern wirklich gesehener äufserer Gegenstände zusammenfallen, so ist d

für jede Stelle der Netzhaut durch Erfahrung die Richtung schon bekannt, in welcher gesehene Objecte liegen müfsten, die sich auf ihr abbilden, mit welchen alsdann das subjective Phänomen zusammenfallen würde. Dafs auch im dunklen Felde die subjectiven Erscheinungen, Nachbilder zum Beispiel, nach demselben Gesetze wie die Eindrücke wirklich gesehener Objecte localisirt werden, zeigt sich empirisch dann, wenn wir das dunkle Gesichtsfeld, ohne das Auge zu bewegen, plötzlich hell machen; so sehen wir auch das Nachbild, und zwar ohne dafs es seinen Platz veränderte, nunmehr mit bestimmten Objecten vor uns zusammenfallen und diese decken. Da es beim Uebergang von Dunkel zu Hell seinen Platz nicht änderte, so war es also schon vorher so localisirt, wie die äufseren Objecte, mit denen es schliefslich zusammenfiel.

Diese Betrachtungen lassen wohl über die Richtigkeit unseres Gesetzes keinen Zweifel, wonach jeder Eindruck auf die Netzhaut genau in denjenigen Theil des Gesichtsfeldes verlegt wird, wo ein äufseres Object erscheinen würde, welches passend gelegen ist, um bei geradlinigem Einfall des Lichtes in das Auge denselben Eindruck auf die Netzhaut zu machen.

Das Gesetz läfst sich auch durch directere Versuche erweisen, aber freilich nicht mit sehr grofser Schärfe. Wir wissen, dafs ein rechts gelegenes leuchtendes Object auf der linken Seite der Netzhaut abgebildet wird, ein links gelegenes auf der rechten, ein oben liegendes unten, ein unten liegendes oben. Bei Leuten mit dünnen und durchscheinenden Augenhäuten können wir das optische Bild eines sehr hellen Lichtes, ja sogar an den angegebenen Stellen durch die Sclerotica scheinen sehen (S. 86). Wenn wir an die rechte Seite des Auges mit dem Nagel drücken, sehen wir das 615
Druckbild links (S. 236). Wenn wir durch eine Brennlinse starkes Licht fallen auf die rechte Seite der Sclera auffallen lassen, erscheint uns links im Gesichtsfelde eine entsprechende Lichterscheinung. Wenn wir an der genannten Stelle einen absteigenden elektrischen Strom aus dem Auge austreten lassen, erscheint uns ebenfalls links der entsprechende helle Fleck. Wenn wir das Auge dagegen links reizen, haben wir die subjective Erscheinung rechts im Gesichtsfelde, wenn wir unten reizen, haben wir sie oben, wenn oben, unten.

Die optischen Täuschungen, welche auf diesem Principe beruhen, sind sehr zahlreich. Wir können sie in folgende Hauptklassen eintheilen:

1) Die Lichtstrahlen des Objects sind, ehe sie in das Auge treffen, von ihrem Wege abgelenkt worden durch Reflexion, Refraction oder Diffraction. Wenn das Licht nach der Veränderung seines Weges homocentrisch bleibt, so glauben wir im Allgemeinen, mit Vorbehalt der beschriebenen Urtheilstäuschungen, das Object an derjenigen Stelle des Raumes zu sehen, wo der Durchschnittspunkt der in das Auge eintretenden (nöthigenfalls rückwärts verlängerten) Strahlen liegt. Wir nennen diesen Durchschnittspunkt deshalb das optische Bild des Objectes (S. 55). Von dieser Art sind die optischen Wirkungen unserer dioptrischen und katoptri-

schen Fernröhre und Mikroskope, unserer ebenen und kugelig gekrümmte Spiegel, der Loupen und anderer Glaslinsen, so wie auch der Prismen, wen sie so angewendet werden, dafs sie merklich homocentrisches Licht gebe Ich brauche hier auf die Wirkung dieser Instrumente nicht näher einzugehe da die Lehre davon einen breit und sorgfältig ausgebildeten Zweig der phys kalischen Optik bildet. Alle diese Instrumente entwerfen optische Bild der Objecte, welche wir statt der letzteren zu sehen glauben, sie bringe also optische Täuschungen hervor, aber solche, deren Irrthum wir leicht vermeiden wissen, während wir im Stande sind an den vergröfserten od sonst veränderten optischen Bildern mancherlei zu erkennen, was wir b directer Betrachtung des Objects nicht erkennen können. Ein ebener Spieg läfst uns die Objecte von einem Standpunkte aus sehen, den wir in Wirklic keit oft nicht einnehmen können, nähmlich vom Standpunkte eines hint der Spiegelebene befindlichen Beobachters, der z. B. unser eigenes Gesic von vorn erblickt, was wir direct nicht können. Ein Prisma trennt uns d Bilder eines lichten Objects, welche den verschiedenen einfachen Farb seines Lichts entsprechen, und so fort.

Wenn bei der Veränderung des Weges das Licht nicht homocentris bleibt, erblicken wir dagegen mehr oder weniger verwaschene lichte Stell in denjenigen Theilen des Gesichtsfeldes, welche den beleuchteten Stell der Netzhaut entsprechen. Von dieser Art sind die Erscheinungen d Regenbogens, die Diffractionsfransen, das Glitzern bewegten Wassers u so weiter.

2) Das Licht fällt geradlinig in das Auge, letzteres ist ab nicht für den leuchtenden Punkt accommodirt. Ist die Pupille fr so erscheinen in einem solchen Falle im Gesichtsfelde statt leuchtend Punkte leuchtende Flächen mehr oder weniger unregelmäfsig gebildet in Fo
616 der bekannten strahligen Figur kleiner Zerstreuungskreise (S. 170); kleine Objecte, wie die Mondsichel, erscheinen sehr gewöhnlich als doppelt od mehrfach (S. 171 u. 172). Es sind diese Erscheinungen bedingt dadurch, dafs d Licht eines Punktes des Objects nicht mehr auf einen einzelnen Punkt d Netzhaut concentrirt wird, sondern sich über eine kleine Fläche derselb zerstreut. Der beleuchteten Netzhautfläche entsprechend wird eine fläche haft ausgebreitete Lichterscheinung im Gesichtsfelde gesehen.

Wenn nicht die ganze Pupille frei ist, sondern man durch ein Karte blatt mit einer engen Oeffnung blickt, so erscheinen die Objecte auch falscher Richtung und Gröfse; bewegt man das Kartenblatt, so bewegt si auch scheinbar der Gegenstand, wie dies auf S. 118 erklärt ist. H hat allerdings jeder helle Punkt des Objects ein fast punktförmiges B auf der Netzhaut, aber dieses hat wegen der mangelhaften Accommodati des Auges nicht seine normale Lage.

Wenn man durch Kartenblätter mit zwei oder drei Oeffnungen sie erblickt man bei mangelhafter Accommodation die Objecte verdoppelt oc verdreifacht.

Diese Versuche sind wichtig, weil sie erkennen lassen, dafs auch die genaue Accommodation des Auges mit zu den Bedingungen des normalen Sehens gehört, auf welches sich die Einübung bei der Localisation der Sinneseindrücke bezieht. Wir projiciren die Zerstreuungskreise oder die Theile der Zerstreuungskreise, welche beim Sehen durch enge Oeffnungen stehen bleiben, so in das Gesichtsfeld, als wären es Bilder, die bei genauer Accommodation gebildet wären. Für jeden beleuchteten Punkt der Netzhaut setzen wir auch dabei wieder einen lichten Punkt in das Gesichtsfeld. Es haben auch diese Versuche bei der Entwickelung der physiologischen Optik einige Wichtigkeit gehabt, weil sie erkennen liefsen, dafs nicht die Richtung, in welcher ein Lichtstrahl in das Auge gelangt, noch die Richtung, in welcher er die Netzhaut trifft, sondern nur der Ort der Netzhaut, welcher getroffen wird, die Richtung der Projection bestimmen. Betrachtet man *Fig. 63* auf S. 119, so weichen hier die Projectionslinien $f\varphi$ und $g\gamma$ wesentlich von den wirklichen Richtungen der gebrochenen und ungebrochenen Strahlen ab.

3) Es erscheinen körperliche Objecte aus dem Auge selbst, wie die entoptischen Objecte: fliegende Mücken, Gefäfsschatten, Netzhautgrube u. s. w., wie sie in § 15 und zum Theil in § 25 beschrieben sind. Diese beschatten die hintere Schicht der Netzhaut und erscheinen deshalb im Gesichtsfelde selbst als Schatten. Die optische Täuschung versetzt hierbei also Gegenstände, die im Auge liegen, nach aufsen und zwar meistentheils in verkehrter Lage, da gewöhnlich der Schatten des Objects auf der Netzhaut aufrecht stehend ist. Da die Lage dieser Gebilde sich nur durch ihre subjective Erscheinung bestimmen läfst, so lehren sie für die Theorie nichts Neues.

4) Die Nerven werden gereizt, oder ihre Erregungsstärke wird verändert. In diesen Fällen ist nicht das Licht selbst, sondern die Lichtempfindung verändert; hierher gehören die Druckbilder, das Accommodationsphosphen, die leuchtenden Garben an der Eintrittsstelle des Sehnerven bei Bewegung des Auges, das Eigenlicht der Netzhaut, die elek- 617
trischen Erscheinungen, wie sie in § 17 beschrieben sind. Bei dieser letzten Klasse von Erscheinungen besteht die Täuschung nicht mehr allein in einer falschen Localisation eines leuchtenden oder dunklen Objects. Es ist vielmehr gar kein solches vorhanden, sondern nur die Empfindung, welche der Regel nach durch solche Objecte hervorgebracht zu werden pflegt.

Bei gesunden Menschen im wachen Zustande treten alle diese täuschenden Erscheinungen, welche wir beschrieben haben, im Gesichtsfelde wohl ein, und lassen sich nicht einmal beseitigen durch die bessere Einsicht, wodurch sie als Täuschungen anerkannt werden. Indessen ist diese bessere Einsicht in der Regel vorhanden, die Täuschung ist als Täuschung anerkannt. Wenn wir durch ein optisches Instrument oder in einen Spiegel sehen, so wissen wir, dafs wir unter abgeänderten Bedingungen sehen, und lernen bald die richtigen Urtheile über die wirkliche Beschaffenheit der

Gegenstände mittelst des falschen Bildes fällen. Wir lernen zum Beispiel nach dem Anblick des Spiegelbildes uns rasiren, kämmen u. s. w., trotzdem dieses Bild überall rechts und links verkehrt zeigt. Wir lernen nach einige Uebung mit Nadeln unter der Loupe oder selbst unter dem zusammengesetzten Mikroskope zu präpariren, obgleich beide Instrumente jede Bewegung unserer Hand in übertriebener Gröfse, das letztere auch in verkehrter Richtung zeigen, so dafs wir also sogar eine neue Einübung unsere Bewegungen nach falschen optischen Bildern ausbilden können.

Bei den übrigen Erscheinungen, welche in dem Auge selbst ihren Grun finden, scheint es namentlich der Umstand, dafs die subjectiven Phänomen sich mit dem Auge bewegen, zu sein, welcher sie als subjectiv erkenne läfst. Bei schnell aufblitzenden Erscheinungen der Art, welche ebenso schnel wieder verschwunden sind, fällt dieses Merkmal fort, und da kann man i der That oft zweifelhaft sein, ob man etwas Wirkliches gesehen habe. Wen man zum Beispiel im Finsteren seinen Weg sucht und im indirecten Sehe bei einer Bewegung des Körpers und Auges seitlich ein Lichtschein aufblitzt ist mitunter der bestunterrichtete Beobachter aufser Stande bestimmt z sagen, ob ein solcher objectiv oder subjectiv war. Dafs manche Gespenstergeschichten durch solche subjective Erscheinungen hervorgerufen sind, is sehr wahrscheinlich. Das Eigenlicht der Netzhaut ist reich an Gestaltunger denen von einem furchtsamen Menschen leicht allerlei wunderliche Deutunge untergeschoben werden können, namentlich wenn er das Auge starr auf di gefürchtete Erscheinung richtet und daher nicht bemerken kann, dafs si sich mit dem Auge bewegt. In Fiebern und Gehirnkrankheiten, wo di regelrechte Verbindung der Vorstellungen gestört ist, die einzelnen nich fest gehalten, verglichen und combinirt werden können, fehlt dann auch di zur Anerkennung der subjectiven Natur der genannten optischen Erscheinunge nöthige Ueberlegung, und es knüpfen sich daran häufig phantastisch Vorstellungen. Im Säuferwahnsinn sind schwarze Flecke im Gesichtsfeld welche sich mit dem Auge schnell umherbewegen; diese erwecken die Vorstellung von herumlaufenden Mäusen, schwarzen Käfern oder Fliegen. I Fieberphantasien erkennt man aus den Beschreibungen der Kranken dagege
618 oft die lichten und farbigen Punkte und Kreise wieder, welche bei leichte Druck auf das Auge auch bei Gesunden hervorgebracht werden können un bald für Feuerfunken, bald für feurige Augen u. s. w. gelten.

Bei den bisher beschriebenen Erscheinungen ist von uns immer an genommen worden, dafs der Kopf aufrechte Haltung habe, oder wenn nich dafs wir eine richtige Kenntnifs seiner Neigung haben. Schliefslich ist noc eine Täuschung zu erwähnen, welche von einer falschen Schätzung de Richtung des Kopfes herrührt. Aubert[1] brachte in einem Fensterausschni eines übrigens verdunkelten Zimmers einen Spalt von 5 Centimeter Läng und 2 Centimeter Breite an, der den einzigen hellen und sichtbaren Gege

---

[1] H. Aubert, *Virchow's Arch. f. pathol. Anatomie.* Bd. XX.

stand in dem umgebenden Raume bildete. War diese helle Linie vertical und neigte er den Kopf nach rechts, so dafs das rechte Ohr sich nach unten richtete, so erschien die Linie geneigt von rechts unten nach links oben. Neigung des Kopfes nach links gab die entgegengesetzte Scheinverschiebung der Linie. War die Linie unter 45 Grad gegen den Horizont geneigt und verlief von links unten nach rechts oben, so erschien sie bei der Neigung des Kopfes nach rechts vertical, ja über die Verticale hinaus nach entgegengesetzter Richtung gedreht. Bei der Neigung nach links erschien sie horizontal, ja über die Horizontale hinausgedreht. Das Maximum der Drehung der hellen Linie trat ein, wenn der Kopf um etwa 135° geneigt war.

Die Drehung der hellen Linie folgt der Neigung des Kopfes, wenn diese langsam ausgeführt wird, ziemlich unmittelbar; neigt man aber den Kopf plötzlich bedeutend, so vergehen einige Secunden, bevor die Linie die Drehung vollendet.

Wenn man bei unverändert schiefer Haltung des Kopfes das Zimmer beleuchten läfst, so erscheint die verticale Linie wieder vertical. Läfst man das Licht auslöschen, so geht sie in ihre frühere Neigung zurück.

Wir haben es hierbei nicht zu thun mit einer wirklichen Drehung des Auges im Kopfe, wie man sich mit Hilfe von Nachbildern überzeugen kann. Ein im verticalen Meridian des Auges entwickeltes Nachbild scheint bei einer Drehung des Kopfes um einen rechten Winkel nach rechts im dunklen Zimmer nicht horizontal zu liegen, wie es wirklich liegt, sondern schräg von links unten nach rechts oben, und eine objective helle Linie, welche wirklich diese letztere Neigung hat, erscheint vertical.

Die Täuschung beruht vielmehr darauf, dafs wir im Dunkeln die Seitenneigung unseres Kopfes für kleiner halten, als sie wirklich ist.

Statt im dunklen Zimmer zu beobachten, kann man die Linie auch an einer einförmig angestrichenen Wand anbringen und vor das Gesicht einen cylindrischen Schirm anbringen, der den Anblick aller seitwärts gelegenen Gegenstände verhindert.

Es gehören hierher ferner die bekannten Erscheinungen über die Scheinbewegungen der gesehenen Gegenstände, wenn unser Körper selbst auf einem Nachen oder in einem langsam und leise vorwärts bewegten Eisenbahnwagen in Bewegung ist, oder umgekehrt die täuschende Erscheinung einer eigenen scheinbaren Bewegung, wenn wir selbst zwar ruhig sitzen, aber die 619
vor uns befindlichen Gegenstände mit constanter Geschwindigkeit bewegt sind. Das gröfste Beispiel der ersteren Art ist die scheinbare Ruhe der Erde und die scheinbare Bewegung des Sternenhimmels. Zweifel entstehen oft, wenn auf einer Station zwei Eisenbahnzüge neben einander halten, in deren einem sich der Beobachter befindet und den andern betrachtet. Wenn dann einer von beiden sich in Bewegung setzt, ist es oft schwer zu ermitteln, ob dies der eigene oder der andere ist, wenn es nicht gelingt feststehende Theile des Erdbodens oder der Gebäude zu sehen. Auch in Sternwarten mit drehbarem Kuppeldach, wie solche für die Auf-

stellung des Heliometers gebraucht werden, tritt bei der Drehung de Daches wohl die Täuschung ein, dafs sich der Fufsboden drehe und da Dach still stehe.

Im Allgemeinen hält man dabei gewöhnlich den gröfseren Theil de gesehenen Gesichtsfeldes für ruhend, den kleineren für bewegt. Dann komm aber hinzu, dafs wir beim Anfange einer Bewegung Stöfse oder Erschütte rungen unseres Körpers oder wenigstens Wirkungen der Trägheit seine schweren Masse zu fühlen erwarten. Wenn nun die Bewegung sehr leis beginnt, wie die eines Nachens, so glauben wir nicht uns in Bewegung z befinden, oder wenn wir Stöfse gefühlt haben, wie von einem dicht danebe fahrenden Eisenbahnzuge, die sich auf den stehenden übertragen, so glaube wir bewegt zu sein. Wenn die eine oder andere Deutung gleich möglic ist, kann der Beobachter auch willkürlich die eine oder andere Anschauun in sich erzeugen.

Für die Beobachtung des Gesichtsschwindels, der durch eine angeschaute Bewegun entsteht und den Herr J. J. Oppel an strömendem Wasser (dem Rhein bei Schaffhause kurz vor dem Falle) bemerkt hatte, hat derselbe einen Apparat construirt, den Antirrheoskop nennt und mit dem man die Erscheinung jederzeit beobachten kan Derselbe besteht aus fünf parallel neben einander liegenden Walzen von $2^1/_2$ Zo Durchmesser und $2^1/_2$ Fufs Länge, welche durch eine gröfsere Rolle alle nach derselbe Richtung in Umdrehung gesetzt werden können. Jede Walze ist mit weifsem Papi überzogen, auf dem je zwei schwarze Spiralen von je $2^1/_2$ Windungen gezeichnet sin Jede Spirale besteht wiederum aus einem breiten mittleren schwarzen Streifen vo $1^1/_2$ Zoll Breite, neben dem in einer Entfernung von je einem halben Zoll zwei schmäle schwarze Streifen von einem halben Zoll Breite hergehen. Das weifse Band zwische dem schwarzen Streifen der einen und der nächstbenachbarten Spiralwindung hat da wieder $1^1/_2$ Zoll Breite, so dafs Weifs und Schwarz symmetrisch vertheilt sind. Wi nun die gröfsere Scheibe, deren Rand mit Reibung an den Enden der Walzen schlei gedreht, so drehen sich alle Walzen in gleichem Sinne, die mittleren mit etwas gröfser Geschwindigkeit als die äufseren, um die ungleiche Bewegung des Wassers im Flus nachzuahmen. Die Spiralbänder scheinen dann mit gleichförmiger Geschwindigkeit si der Länge der Walzen parallel zu verschieben, und wenn der Beobachter eine Zeit la auf die scheinbar bewegten Bänder hingeblickt hat und nun auf ruhige Objecte sieh scheinen diese rückwärts zu gehen.

Herr Oppel hat vor den Walzen auch noch ein Gesichtszeichen befestigt, um d Blick fixirt zu halten. Da aber bei fester Fixation dieses Zeichens, wie es scheint, d Versuch ihm oft mifslungen ist, und er glaubte, dafs feste Fixation zur Erzeugung d Schwindels nöthig und dafs die feste Fixation nur durch den Anblick der bewegt Masse gehindert sei, so hat er als Fixationszeichen ein rautenförmiges Holztäfelchen v $^1/_2$ Zoll Breite und $^3/_4$ Zoll Höhe angewendet, welches selbst langsam durch die Mechan des Instrumentes gedreht wurde und dem Beschauer bald die eine, bald die andere Sei zukehrte. Hiermit gelangen die Versuche, weil, wie ich selbst meine, durch die
620 Einrichtung dauernde feste Fixation ein und desselben festen Punktes unmöglich gemac war, da jeder Punkt des Holztäfelchens, den man etwa hätte fixiren wollen, abwechseln schwand und wieder zum Vorschein kam. Ich selbst mufs nach meinen Versuch gerade das Entgegengesetzte von Oppel behaupten, nähmlich, dafs bei ganz streng Fixirung des Blicks der Schwindel nicht zu Stande kommt, sondern nur durch c unwillkürlichen und meist unbewufsten kleinen Bewegungen, mittels deren wir d bewegten Körpern folgen. Darin aber hat Oppel Recht, dafs gröfsere willkürlic Bewegungen des Auges, mit denen wir bewufster Weise eine längere Strecke hindur dem bewegten Körper folgen, der Täuschung hinderlich sind.

Historisches. Dafs man die Objecte aufrecht sieht, ohngeachtet ihre Netzhautbilder verkehrt sind, schrieb KEPLER[1] der Seele zu, welche den Eindruck auf einen untern Theil der Netzhaut sich so vorstellen soll, als wenn er von den Strahlen eines höheren Punktes der Sache entstände. Ebenso SCHEINER.[2] PRIESTLEY[3] leitet diese Eigenthümlichkeit der Gesichtsvorstellungen aus der Vergleichung mit dem Tastsinn her. DESCARTES[4] erläutert die natürliche Methode, die Gröfse, Lage und Entfernung der Gegenstände aus der Richtung der Augenaxen zu beurtheilen, indem er sie vergleicht mit der Art, wie ein Blinder von der Gröfse und Entfernung einer Sache vermittels zweier Stäbe, selbst von unbekannter Länge, urtheilt, wenn seine Hände, worin er die Stäbe hält, in einer bekannten Entfernung und Lage gegen einander sind. Uebrigens veranlafste die Frage wegen des Aufrechtsehens der Objecte eine grofse Menge von Schriften.[5]

KEPLER[6] fand auch schon die richtige Regel für die scheinbare Lage der durch brechende oder spiegelnde Instrumente gesehenen Objecte, indem er sie in den Convergenzpunkt der in das Auge tretenden Strahlen verlegte. Die Schwierigkeiten, welche später zu vielfachen Discussionen über diesen Punkt führten, betrafen nicht sowohl die Richtung, in der das Object gesehen wurde, als vielmehr seine Entfernung, wovon im folgenden Abschnitt zu sprechen sein wird.

PORTERFIELD[7] glaubte, dafs wir vermöge einer ursprünglichen Einrichtung unserer Natur die Gegenstände irgendwo in der geraden Linie sehen, die senkrecht auf die Netzhaut an der Stelle, wohin das Bild fällt, gezogen wird. Dieselbe Annahme wurde auch von D'ALEMBERT,[8] BARTELS[9] und vielen Anderen festgehalten. VOLKMANN[10] hat für die Normalen der Netzhaut die Richtungslinien gesetzt, welches nach der auf S. 91 gegebenen Definition die durch das Netzhautbild und den (hintern) Knotenpunkt des Auges gezogenen Linien sind. Diese Linien sind in der That die richtigen, um objectiv bei physikalischen Untersuchungen den leuchtenden Punkt zu finden, wenn der Ort des Netzhautbildes in dem gut accommodirten Auge und dessen Stellung vollständig gegeben sind. So spielen also die Richtungslinien eine wichtige Rolle in der physiologischen Optik, namentlich, wo es sich darum handelt, zu ermitteln, mit den Bildern welcher äufseren Objecte irgend welche Erregungen der Netzhaut durch Licht oder durch innere Reize sich decken. So weit wir also den Ort der gesehenen Gegenstände objectiv richtig beurtheilen, so weit ist VOLKMANN's Darstellungsweise im Recht. Eine solche richtige Beurtheilung trifft aber ist nur zu für die direct mit beiden Augen gesehenen Punkte und selbst für diese nicht immer. Alle indirect gesehenen Punkte verlegen wir in falsche Richtungen, indem wir den Winkel zwischen ihrer Richtungslinie und der Blicklinie zu klein nehmen, wie der vorige Paragraph gelehrt hat, und so oft wir die Augen convergiren lassen und auf nähere Objecte richten, beurtheilen wir die Richtungen der gesehenen Objecte falsch, wie die oben beschriebenen Versuche lehren. Eine Hauptschwierigkeit der Theorie von VOLKMANN ist die Erklärung der binocularen Doppelbilder, wie HERING[11] richtig bemerkt 621
hat. Wir können also die Theorie von VOLKMANN nicht als ein angeborenes und elementares Gesetz auffassen, welches an und für sich schon die Richtung des Gesehenen

---

[1] KEPLER, *Paralipomena*, p. 169. — SMITH, *Opticks. Rem.*, p. 4.
[2] SCHEINER, *Oculus*, p. 192.
[3] PRIESTLEY, *Geschichte der Optik*, übersetzt von KLÜGEL, Leipzig 1776, S. 69.
[4] DESCARTES, *Dioptrice*, p. 68 und *De homine*, p. 66.
[5] KAESTNER im *Hamburger Magasin*, VIII, St. 4, Art. 8—IX, St. 1, Art. 4. — LICHTENBERG in *Erxleben's Naturlehre*, 6. Aufl., S. 328. — RUDOLPHI, *Physiologie*, II, 227. — L. FICK in *Müller's Archiv* f. *Anatomie*, 1854, S. 220. — Noch andere unten im Literaturverzeichnifs.
[6] KEPLER, *Paralipomena*, p. 285 und p. 69—70.
[7] PORTERFIELD, *On the eye*, II, 285.
[8] D'ALEMBERT, *Opuscula mathem.*, I, p. 26.
[9] BARTELS, *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes*, Berlin 1834.
[10] VOLKMANN, *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes*, Leipzig 1836, und Artikel Sehen in *R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie*. — S. auch MILE, über Richtungslinien des Sehens, *Poggendorff's Annalen*, XLII, 245, und *Müller's Archiv für Anatomie*, 1838, S. 387.
[11] E. HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Leipzig 1861. S. 35—64.

bestimmte. Ein wesentliches Verdienst HERING's ist es, den Einfluſs der Convergenzstellungen hierbei in das Licht gestellt zu haben.

Den Einfluſs der Schwindelbewegungen und Scheinbewegungen haben untersucht PLATEAU[1], OPPEL[2] und ZOELLNER[3]; den Einfluſs falscher Beurtheilung der Kopfstellung AUBERT[4]; über den Einfluſs der Lähmung einzelner Muskeln A. v. GRAEFE[5] und NAGEL.[6]

622 ## § 30. Wahrnehmung der Tiefendimension.

Wir haben in den beiden vorangehenden Paragraphen beschrieben, wie sich die gesehenen Objecte in der Fläche des Sehfeldes scheinbar neben einander ordnen, und welche Momente auf die Art dieser Anordnung, die scheinbaren Abstände der einzelnen Objecte im Sehfelde Einfluſs haben. Wir haben dabei allerdings zur Erleichterung der geometrischen Auffassung uns erlaubt für das Sehfeld die Gestalt einer Kugel anzunehmen, aber dabei ausdrücklich hervorgehoben, daſs die scheinbare Anordnung im Sehfeld überhaupt eben nur eine flächenhafte Anordnung, nach zwei Dimensionen ausgedehnt, sei, aber keineswegs eine Anordnung auf irgend einer bestimmten Fläche, die ihre feste Lage und Gröſse hätte. Die Form dieser Fläche des Sehfeldes blieb vielmehr vollständig unbestimmt. Eben deshalb kann sie aber nun noch jede beliebige Form annehmen, so bald irgend welche neue Momente der Wahrnehmung hinzutreten, die über eine solche Aufschluſs geben.

Das einäugige Sehen giebt zunächst nur die Wahrnehmung der Richtung, in der der gesehene Punkt liegt. Dieser kann sich in der Visirlinie, in der er liegt, hin und her bewegen, ohne daſs in dem Eindruck auf das Auge sich etwas ändert mit Ausnahme der Gröſse des Zerstreuungskreises, den er auf der Netzhaut erzeugt; und so lange die Verschiebung die Länge von CZERMAK's Accommodationslinie (s. S. 114) nicht überschreitet, wird diese Veränderung des Zerstreuungskreises gar keine wahrnehmbare Gröſse haben. Welche Fehler wir in der Wahrnehmung der Richtung einer solchen Visirlinie begehen, ist im vorigen Paragraphen auseinandergesetzt worden. Das einäugige Sehen giebt uns also zunächst weiter nichts als die scheinbare Richtung der Visirlinie, in der der gesehene Punkt zu suchen ist.

Um nun eine vollständige Kenntniſs der wirklichen Vertheilung der gesehenen Objecte im Raume zu erhalten, ist es weiter noch nöthig, in der genannten Visirlinie auch den Abstand jedes gesehenen Punktes vom Auge zu kennen. Zur Kenntniſs der Flächendimensionen des Feldes muſs auch noch die Kenntniſs seiner Tiefendimension kommen. Die tägliche Erfahrung lehrt uns, daſs wir auch diese Tiefendimensionen beurtheilen

1 PLATEAU, *Bulletin de Bruxelles*, T. XVI. — *Poggendorff's Annalen*, LXXX, S. 287.
2 OPPEL, *Poggendorff's Annalen*, XLIX, 543.
3 F. ZÖLLNER, *Poggendorff's Annalen*, CX, 500.
4 H. AUBERT, *Virchow's Archiv für pathologische Anatomie*, XX, 381—393.
5 A. v. GRÄFE, *Archiv für Ophthalmologie*, I, 1, S. 67.
6 NAGEL, *Das Sehen mit zwei Augen*. Breslau 1861. S. 124—129.

bald mehr, bald weniger genau. Wir haben also zu untersuchen, auf welche 623
Weise wir zur Kenntnifs der Abstände der gesehenen Objecte vor unserem Auge kommen.

Hierbei sind zweierlei Hilfsmittel zu trennen, die einen gehören der Erfahrung über die besondere Natur der gesehenen Objecte an und geben also nur *Vorstellungen des Abstandes*, die andern gehören der Empfindung an und geben eine wirkliche *Wahrnehmung* des Abstandes. Zu diesen letzteren gehören: 1) das *Gefühl der nothwendigen Accommodationsanstrengung*, 2) die *Beobachtung bei bewegtem Kopf und Körper*, 3) der *gleichzeitige Gebrauch beider Augen*.

Ehe wir untersuchen, wann und wieviel diese letztgenannten Hilfsmittel der Wahrnehmung leisten, wird es nöthig sein die aus der Erfahrung genommenen Momente zu untersuchen, um abscheiden zu können, was diesen angehört. Diesen gehört alles an, was wir zu unterscheiden wissen in Bezug auf die Tiefendimensionen des Gesichtsfeldes mit einem Auge, bei unbewegtem Kopfe, an Gegenständen, die weit genug entfernt oder so verwaschen gezeichnet sind, dafs keine deutlich fühlbare Accommodationsanstrengung für ihre Betrachtung stattfindet. Es kommt hierbei in Betracht erstens die mitgebrachte Kenntnifs der Gröfse der gesehenen Objecte, dann die ihrer Form, ferner die Vertheilung des Schattens, endlich die Trübung der vor ihnen liegenden Luft.

Derselbe Gegenstand aus verschiedener Entfernung gesehen giebt verschieden grofse Netzhautbilder und erscheint unter verschiedenen Gesichtswinkeln. Je entfernter er ist, desto kleiner der Gesichtswinkel, unter dem er erscheint. Wie also die Astronomen aus der Messung der wechselnden Gesichtswinkel, unter denen uns Sonne und Mond erscheinen, die Aenderungen in der Entfernung dieser Gestirne berechnen können, so können wir aus dem Gesichtswinkel, oder was dem entspricht, aus der Gröfse des Netzhautbildchens eines gesehenen Gegenstandes von bekannter Gröfse, eines Menschen zum Beispiel, die Entfernung schätzen, in der er sich von uns befindet. Es sind namentlich Menschen und Hausthiere, welche in dieser Beziehung werthvolle Merkzeichen in der Landschaft bilden, weil sie durch ihre Bewegung leicht erkennbar sind, nur wenig in der Gröfse wechseln und ihre Gröfse uns sehr gut bekannt ist. Namentlich Militärpersonen pflegen gut geübt zu sein, auf den Abstand entfernter Truppenmassen auf unbekanntem Terrain in dieser Weise richtig zu schliefsen, so wie man denn auch zu militärischen Zwecken verschiedene kleine optische Apparate eingerichtet hat, mit denen man den Gesichtswinkel für die Höhe eines entfernten Mannes messen und danach seine Entfernung ablesen kann. Häuser, Bäume und Culturpflanzen dienen demselben Zwecke weniger sicher, wegen ihrer weniger constanten Gröfse, wobei denn auch gelegentlich starke Irrthümer unterlaufen. Ein Bewohner der Ebene hält Weinberge leicht für Kartoffelfelder, oder Tannen auf fernen hohen Bergen für Heidekraut, und schätzt danach die Entfernungen

und Gröfsen der Berge zu klein. Aus derselben Rücksicht brauchen die Maler Staffage von Menschen und Vieh in Landschaften, um die Gröfse der dargestellten Dinge einigermaafsen kenntlich zu machen.

Damit hängt nun auch noch zusammen, dafs dieselben Objecte, wie der Mond oder ferne Berge, wenn wir sie wegen trüberer Luft oder aus anderen
624 Gründen für ferner halten, uns gleichzeitig auch immer in demselben Maafse an Gröfse zu wachsen scheinen. Ferner die Erfahrung, dafs ferne Theile der Landschaft, durch ein vergröfserndes Fernrohr gesehen, dem Beschauer in der Regel nicht vergröfsert, sondern nur genähert erscheinen, und er sich erst durch Oeffnen des anderen Auges davon überzeugen mufs, dafs die Bilder auch vergröfsert sind.

Da übrigens diese Beziehung zwischen Entfernung und Gröfse erst durch lange Erfahrung erlernt werden mufs, wird es nicht auffallen können, dafs Kinder hierin ziemlich ungeübt sind und leicht grobe Irrthümer machen. Ich selbst entsinne mich noch, dafs ich als Kind an einem Kirchthurm (der Garnisonkirche zu Potsdam) vorübergegangen bin und auf dessen Gallerie Menschen sah, die ich für Püppchen hielt, und dafs ich meine Mutter bat sie mir herunterzulangen, was, wie ich damals glaubte, sie können würde, wenn sie den Arm ausstreckte. Der Zug hat sich meinem Gedächtnisse eingeprägt, weil mir an meinem Irrthum das Gesetz der perspectivischen Verkleinerung deutlich wurde.

Zur Kenntnifs der Gröfse kommt ferner in sehr vielen Fällen die Kenntnifs der Form der gesehenen Objecte, namentlich in solchen Fällen wo das eine zum Theil vom andern gedeckt wird. Wenn wir zum Beispiel in der Entfernung zwei Hügel sehen, von denen der eine mit seiner Basis sich vor den andern vorschiebt und den letzteren zum Theil verdeckt, so schliefsen wir daraus unmittelbar, dafs der deckende vor dem gedeckten liegt; denn wenn dies nicht der Fall wäre, so müfste der andere einen überstehenden Theil und eine nach unten sehende Begrenzungsfläche haben wie sie an Hügeln nie vorkommt, und aufserdem müfste der Zufall es mit sich bringen, dafs diese überhängende Grenzlinie desselben gerade in der Contourlinie des anderen Hügels, wo dieser nicht deckt, ihre Fortsetzung fände. Es wäre dies eine an sich mögliche Auslegung des gesehenen Bildes die aber aller Erfahrung widerspräche. Dasselbe kann natürlich bei allen möglichen Arten von Gegenständen vorkommen, die sich theilweis decken Selbst wenn uns ihre Gestalt noch durchaus unbekannt ist, wird in den meisten Fällen der Umstand, dafs die Contourlinie des deckenden Objects wo sie über die Contourlinie des bedeckten hingeht, ihre Richtung nicht ändert, entscheidend sein, um den deckenden von dem gedeckten Gegenstande zu unterscheiden. Man kann auch leicht Täuschungen hervorbringen wenn man absichtlich ein deckendes Papierblatt so hält, dafs es eine Ecke darbietet, wo es mit dem theilweis gedeckten zusammenstöfst, an letzterem aber die Contour in derselben Richtung fortläuft.

Am auffallendsten sind die Täuschungen, die auf diesem Princip

beruhen, an spiegelnden und brechenden Flächen, die vor ihrer dem Beobachter zugekehrten Seite ein reelles optisches Bild entwerfen. Die meisten Personen überzeugen sich nur schwer davon, dafs dieses Bild vor dem Spiegel in der Luft liegt; denn sie sehen Lücken im Bilde, wo der Spiegel ein Fleckchen hat, sie sehen das Bild begrenzt durch den Rand des Spiegels, sie sehen überhaupt alle kleinen Unregelmäfsigkeiten des Spiegelbelegs ungetrübt durch das Bild hindurch. Das Bild erscheint durchaus als der bedeckte, also hintere Gegenstand, während es in der That der vordere ist. Ja selbst, wenn man mit Hilfe des zweiäugigen Sehens, der Kopfbewegungen und der 625
Accommodation sinnliche Momente in das Spiel bringt, welche die Wahrnehmung des Bildes an seinem richtigen Orte unzweideutig feststellen könnten, ist es nicht immer ganz leicht, sich von der Täuschung frei zu machen. Das beste Mittel ist noch, dafs man in der Ebene des Bildes einen Schirm anbringt mit einem Ausschnitt, in dem das Bild erscheint, während der Rand der spiegelnden oder brechenden Fläche, die es entwirft, dadurch verdeckt wird. Dann sieht der Beobachter leicht, dafs das Bild in der Ebene des Schirmes liegt.[1]

Es gehört hierher ferner auch die Erfahrung, dafs subjective Gesichtserscheinungen bei geöffneten Augen immer auf die Fläche der im Gesichtsfelde sichtbaren körperlichen Objecte projicirt erscheinen. Da sie bei Bewegungen des Auges sich mitbewegen, werden sie gleich als subjective Erscheinungen von den objectiven getrennt, und es wird ihnen keine Realität zugeschrieben, sondern sie erscheinen nur als Flecken auf den reellen Objecten, wenn die Aufmerksamkeit ihnen überhaupt zugewendet wird. Dies geschieht in der Regel sogar dann, wenn binoculare Nachbilder in beiden Augen entwickelt sind, welche die Wahrnehmung einer bestimmten Localisation im Raume möglich machen würden. Auch solche ist man meist geneigt auf die gesehenen reellen Objecte zu projiciren, statt eine stereoskopische Raumanschauung von ihnen auszubilden, und nur bei besonders darauf gerichteter Aufmerksamkeit gelingt das letztere.

In vielen Fällen genügt es zu wissen oder zu vermuthen, dafs der gesehene Gegenstand eine Form von gewisser Regelmäfsigkeit hat, um sein perspectivisches Bild, wie es uns entweder das Auge oder eine künstlich gefertigte Zeichnung zeigt, richtig als Körperform zu deuten.[2] Wenn ein Haus, ein Tisch oder andere von Menschen gefertigte Gegenstände dargestellt sind, dürfen wir voraussetzen, dafs deren Winkel rechte sind und deren Flächen Ebenen oder cylindrische und kugelige Flächen. Das genügt, um nach einer richtigen perspectivischen Zeichnung sich richtige Anschauungen des Objects zu bilden. Eine perspectivische Zeichnung eines Hauses oder eines physikalischen Apparates verstehen wir ohne Schwierigkeit, selbst wenn sie recht verwickelte Verhältnisse darstellt. Ist sie gut schattirt, so wird der Ueberblick noch leichter. Aber die vollkommenste Zeichnung oder

[1] Darüber siehe DOVE in *Poggendorff's Annalen* LXXXV.
[2] RECKLINGHAUSEN im *Archiv für Ophthalmologie* V, 2, S. 163.

selbst Photographie eines Meteorsteines, eines Eisklumpens, mancher anatomischen Präparate und ähnlicher unregelmäfsiger Gegenstände giebt kaum ein Bild ihrer körperlichen Form. Namentlich Photographien von Landschaften, Felsen, Gletschern bieten dem Auge oft nichts als ein halb-verständliches Gewirr grauer Flecken, während dieselben Photographien bei passender stereoskopischer Combination die allerschlagendste Naturwahrheit wiedergeben.

Wenn dergleichen regelmäfsig gebildete Producte menschlichen Kunst-fleifses, deren Grundformen rechtwinkelige Parallelepipede, Cylinder und Kugelflächen sind, aus der Nähe betrachtet werden, so dafs die vorderen Theile in einem deutlich gröfseren Maafsstabe auf der Netzhaut sich abbilden
626 als die hinteren, so läfst eine richtige perspectivische Abbildung derselben meist nur eine Deutung zu, und wir kommen nicht in Verlegenheit zu erkennen, welches die vorderen, welches die hinteren Theile sind. Werden sie aus grofser Ferne gesehen, oder sind sie sehr flach im Relief, so kann es aber zweifelhaft werden, wie sie zu deuten sind. Dahin gehört die von SINSTEDEN[1] an einer Windmühle gemachte Beobachtung, die sich des Abend gegen den hellen Himmel projicirte, so dafs sie nur wie in einer Silhouett halb von der Seite erschien, als gleichmäfsig dunkles Object auf hellen Grunde, und nur ihre Umrifslinie sichtbar war. Er beobachtete nähmlich dafs die Flügel der Mühle bald in der einen, bald in der andern Richtun herumzugehen schienen. Bei einem solchen Anblicke bleibt es nähmlic unentschieden, ob die Frontseite der Mühle, welche die Flügel trägt, ode die Rückseite dem Beobachter zugekehrt ist, und ob er also die Flüge selbst schräg von vorn oder von hinten sieht. Sähe er sie von vorn, s würde die perspectivisch der Mühle zugekehrte Seite der Flügel ihm di nähere sein; sähe er sie von hinten, so würde diese ihm die fernere sein Je nachdem er die eine oder andere Auslegung wählt, scheint die ihm zugekehrte Seite der Flügel bei der Drehung aufzusteigen oder abzusteige und er erhält also beim Wechsel der Deutung des Bildes auch eine scheinba umgekehrte Bewegung der Flügel. Ob man nun in die eine oder ander Deutung der Erscheinung verfällt, hängt zunächst scheinbar vom Zufall al Auch lassen sich die Gründe, warum die Erscheinung oft plötzlich wechsel nicht immer ermitteln; dagegen kann man auch willkürlich den Wechs herbeiführen, nähmlich dadurch, dafs man sich das entgegengesetzte Verhalte der Mühle lebhaft vorstellt. So wie man dann den sinnlichen Eindruck a vollkommen übereinstimmend mit dieser Vorstellung wahrnimmt, tritt d Vorstellung als sinnliches Anschauungsbild ein.

Es gehört hierher auch folgende von SCHROEDER[2] angegebene Figu welche ohne Schattirung in *Fig. 229* wiedergegeben ist. Dieselbe wi zuerst und am leichtesten als die geometrische Projection einer Treppe au

[1] SINSTEDEN, *Poggendorffs Annalen* CXI, 336–339. MOHR, ebenda 638–642.
[2] SCHRÖDER, *Poggendorff's Annalen* CV, 298.

gefafst werden, so dafs die mit *a* bezeichnete Fläche dem Beschauer näher ist, als die mit *b* bezeichnete, welche letztere die Wand darstellt, an die die Treppe sich anlehnt. Sie kann aber auch so aufgefafst werden, als sähe man ein überhängendes Mauerstück *b*, welches nach unten und links treppenförmig endet, so dafs die Fläche *b* näher, *a* ferner wäre und der Beobachter von unten und links her nach der treppenförmigen Fläche schaut. Die erstere Deutung ist uns die geläufigere, und sie tritt deshalb meist zuerst ein, doch schlägt sie auch

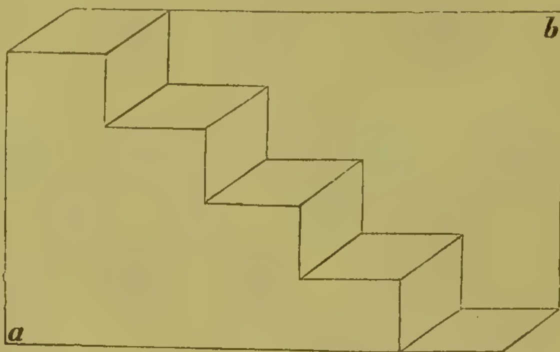


Fig. 229.

leicht und ohne bestimmt zu bezeichnenden Grund in die zweite um. So 627
wie ich mir aber lebhaft die eine oder andere Körperform vorstelle, so tritt auch sogleich die Anschauung derselben an der Figur hervor. Gelingt es nicht von selbst aus der ersten Anschauung in die zweite überzugehen, so kann man das, wie Schroeder bemerkt, dadurch bewirken, dafs man das Buch langsam umdreht, bis das untere Ende desselben nach oben gekehrt ist, und während der ganzen Zeit die Figur betrachtet. Dann bleibt die Fläche *a*, die einmal dem Beschauer näher vorgestellt wird, ihm fortdauernd die nähere, und nach einer Drehung um 180° hat man genau dieselbe Figur wieder, wie im Anfang, nur dafs die Buchstaben *a* und *b* ihre Lage vertauscht haben, und dafs nur scheinbar die rechts oben gelegene senkrechte Fläche die nähere geworden ist. Bei Schroeder ist dieselbe Figur in zweierlei Weise schattirt, was den Erfolg weiter nicht verändert.

Aehnliches kann man an einer grofsen Zahl perspectivischer Linienzeichnungen, zum Beispiel solchen, welche regelmäfsige Körper, Krystallmodelle u. s. w. in geometrischer Projection (also wie von einem unendlich entfernten Punkte aus gesehen) darstellen, beobachten. Dieselbe Ecke oder Kante kann bald einspringend, bald ausspringend erscheinen. Oft wechselt die Vorstellung unwillkürlich. Ich finde aber, dafs man sie auch immer willkürlich wechseln lassen kann, wenn man lebhaft eine andere Deutung sich vorstellt.

Es schliefsen sich hieran die Beobachtungen über die scheinbare Umkehrung des Reliefs von Matritzen für Medaillen, wobei indessen auch die Beschattung einen Einflufs ausübt. Wenn man von einer Medaille, welche in ziemlich flachem Relief geschnitten ist, einen Abgufs in Gyps oder Stearin macht, der also eine Matritze darstellt, an der alle convexen Krümmungen des Originals concav, alle hervorragenden Theile vertieft erscheinen, und man diese Matritze so legt, dafs sie von schräg überfallendem Tageslicht beleuchtet wird, und also kräftig schattirt erscheint, so glaubt man, mit einem Auge danach hinsehend, sehr leicht eine Patritze zu sehen von der

ursprünglichen Form der Medaille. Sieht man mit beiden Augen gleichzeiti nach der Matritze hin, so schwindet in der Regel die Täuschung; ebens wenn man den Kopf oder die Form hin- und herbewegt. Je ruhiger Aug und Object sind, desto leichter tritt die Täuschung ein. Namentlich ist si unter den angegebenen Umständen fast unvermeidlich, wie SCHROEDER be sonders hervorgehoben hat, wenn das Relief einen menschlichen Kopf ode Körper, oder auch thierische Formen, Blätter und dergleichen darstell Bei blofsen Buchstaben und Ornamenten bleibt die Täuschung viel leichter au

Dabei tritt nun eine eigenthümliche Täuschung auch betreffs der Be leuchtung ein. Eine Hohlform nämlich zeigt die Schatten an der de Fenster zugekehrten Seite, die Lichter an der abgekehrten; eine erhaben Form umgekehrt.

Wenn uns daher die Matritze als Patritze erscheint, so erscheint s auch gleichzeitig von der dem Fenster entgegengesetzten Seite her beleucht zu sein. Dazu kommt nun noch, dafs eine so schräg beleuchtete erhaben Form einen merklichen Schlagschatten auf den ebenen Grund werfen müfst welcher Schlagschatten natürlich an der verkehrt gesehenen Matritze feh Dadurch entsteht, wie SCHROEDER es nennt, eine Art magischer Beleuchtun
628 des Reliefs, die gleichsam aus dem Innern zu kommen scheint. Die Ursach davon scheint mir zu sein, dafs der Schlagschatten auf dem ebenen Grun fehlt, und daher dieser Grund wie transparent beleuchtet erscheint.

Man kann übrigens, wie schon RITTENHOUSE und nach ihm viele Ande bemerkten, die Täuschung erhöhen und erleichtern dadurch, dafs man au die Beleuchtung der Matritze umkehrt. Entweder, wie OPPEL in seine **Anaglyptoskop**[1] gethan hat, dadurch, dafs man das Licht des Fenste durch einen Schirm abhält und dafür einen Spiegel an der entgegengesetzt Seite anbringt, den der Beobachter nicht bemerkt; dann erscheint (scheinbare Patritze vom Fenster her beleuchtet zu sein. Oder man ka die Matritze durch ein spiegelndes rechtwinkeliges Prisma betrachten od durch eine Linse, die ein umgekehrtes Bild von ihr entwirft. In all diesen Fällen erscheint die Beleuchtung richtig, obgleich sie immer etw fremdartiges durch den fehlenden Schlagschatten behält, namentlich, we das Relief sehr stark ist. Die Beobachtung durch eine umkehrende Lin trennt aufserdem für den Beobachter die Form aus ihrer übrigen Umgebu los und erfordert eine unveränderliche Lage des Auges, weil das Bild (Medaille sonst von der Grenze der Linse verdeckt wird. Alle diese U stände begünstigen die Täuschung. Daher ist es wohl zu erklären, dafs m sie bei solchen umgekehrten von Linsen und Spiegeln entworfenen Bilde zuerst wahrgenommen hat.

Dafs es im Ganzen viel seltener gelingt, Patritzen als scheinbare M tritzen zu sehen, scheint nur davon herzurühren, dafs jene gewöhnlich ein Schlagschatten zeigen, welche die Deutung der convexen als eine hol Form unmöglich machen.

---

[1] OPPEL, *Poggendorffs Annalen* XCIX, 466—469.

Eine eigenthümliche hierher gehörige Täuschung beschreibt D. Brewster.[1] Fufsstapfen im Sande erschienen ihm erhöht. Es zeigte sich, dafs der Wind helleren Sand hineingeweht und an einem Rande aufgehäuft hatte, so dafs dieser Rand scheinbar stärker beleuchtet erschien. Auch der Mond, bei Tage durch ein umkehrendes Fernrohr betrachtet, erscheint, wie Schweizer bemerkt, zuweilen in verkehrtem Relief.

Schroeder macht noch auf einige andere Täuschungen ähnlicher Art aufmerksam. Wenn wir ein rechteckiges Streifchen Papier auf eine horizontale Tischplatte legen und schräg von oben her mit einer umkehrenden Linse besehen, so sollte bei richtiger Umkehrung der obere Rand des Bildes vom Papier und der Tischplatte dem Beobachter näher erscheinen, der untere ferner. Der Regel nach verhält es sich umgekehrt, wir glauben vielmehr den Tisch und das Papier in ihrer wirklichen Richtung zu sehen, und wenn eine feine Nadel schräg in das Papier eingestochen wird, von der eine passend gestellte Lampenflamme einen scharf begrenzten Schlagschatten wirft, so erscheint uns vermöge derselben Umkehrung oft das Bild des Schattens als das der Nadel und umgekehrt. Brewster bemerkt, dafs bei dieser Art der Täuschung ein in die Ebene eingeschnittenes Intaglio wegen der Umkehrung leicht als Relief hervortritt, weil man die nähere Seite desselben für die entferntere hält.

Von noch gröfserer Wichtigkeit, als die verschiedenartige Beleuchtung 629
der Flächen eines Körpers je nach ihrer Neigung gegen die einfallenden Strahlen, sind die Schlagschatten. Wenn wir eine erleuchtete Fläche sehen, so mufs sich der leuchtende Körper vor dieser Fläche befinden, und wenn ein Schlagschatten auf sie fällt, so mufs sich der Schatten werfende Körper ebenfalls vor der Fläche befinden, die den Schatten empfängt. (Vor und hinter ist hier in Beziehung auf die Fläche zu nehmen, nicht in Beziehung auf die Stellung des Beobachters.) Dadurch ist also eine gewisse geometrische Beziehung des Schatten werfenden Körpers zur beschatteten Fläche unzweideutig festgestellt. Eine wie entscheidende Rolle die Schlagschatten in der Deutung der Gesichtserscheinungen spielen, werden wir später bei den pseudoskopischen Erscheinungen noch ersehen. Auch ist allgemein bekannt, eine wieviel deutlichere Vorstellung eine gut schattirte Zeichnung von einem Gegenstande giebt, als eine, die blos seine Umrisse darstellt; wie viel vortheilhafter für eine Landschaft, namentlich wenn man sie aus der Höhe sieht, die Beleuchtung des Sonnenaufgangs und Sonnenuntergangs ist, als die der hochstehenden Sonne. Es kommen hier nicht blos die reicheren Farben in Betracht, welche die tief stehende Sonne giebt, sondern auch namentlich die bessere Modellirung der Formen des Terrains, welche durch die reichere Schattirung entsteht. Im Allgemeinen sind ja wenige Abhänge so steil, dafs sie bei hoch stehender Sonne nicht beleuchtet wären. In der Mittagsbeleuchtung ist daher mit wenigen Ausnahmen alles hell und

[1] D. Brewster, *Athenaeum* 1860, 2, p. 24; *Rep. of Brit. Assoc.* 1860, 2 p. 7—8.

wenig Schatten vorhanden; die Formen der Berge und Thäler, wo sie nich sehr schroff sind, sind deshalb wenig deutlich. Wenn dagegen die Sonn schräg steht und viele Abwechselung von Licht und Schatten giebt, so wir alles viel deutlicher und verständlicher.

Ein weiteres von der Beleuchtung hergenommenes Moment für di Beurtheilung der Entfernung namentlich entfernterer Gegenstände giebt di sogenannte **Luftperspective**. Wir verstehen darunter die Trübung un Farbenveränderung des Bildes ferner Objecte, welche durch die unvollkommen Durchsichtigkeit der vor ihnen liegenden Luftschicht bewirkt wird. Di Luft, wenn sie schwach mit Wassernebel gefüllt ist, wie es in ihren tiefere Schichten, namentlich in der Nähe grofser Wasserflächen, gewöhnlich de Fall ist, wirkt wie ein trübes Medium, welches beleuchtet vor dunklen Hintergrunde selbst bläulich erscheint, eindringendes Licht heller Object aber mit röthlicher Farbe durchläfst. Je dicker die Luftschicht zwische dem Auge des Beobachters und dem fernen Objecte ist, desto stärker wir dessen Farbe verändert, entweder in das Bläuliche, wenn es dunkler, ode in das Röthliche, wenn es heller als die vorliegende Luftschicht ist. S erscheinen ferne Berge blau, die untergehende Sonne roth.

Den Einflufs, den die Luftperspective auf unser Urtheil ausübt, könne wir leicht bemerken, wenn die Luft ungewöhnlich klar oder ungewöhnlic trüb ist. Im ersteren Falle erscheinen ferne Bergreihen sehr viel nähe und kleiner, im zweiten ferner und gröfser als gewöhnlich. Für den Be wohner der Ebene beruht darauf eine gewöhnliche Art der Täuschung, wen er in das Hochgebirge kommt. In der Ebene, namentlich in der Näh
630 grofser Wasserflächen, ist die Luft gewöhnlich trüb, im Hochgebirge ge wöhnlich aufserordentlich durchsichtig. So erscheinen denn dem Reisende entfernte Berggipfel, namentlich wenn sie mit Schnee bedeckt im Sonnen schein glänzen, so klar, wie er sonst nur nahe Gegenstände gesehen ha und er schätzt deshalb im Allgemeinen alle Distanzen und Höhen viel z klein, bis er, ihre Dimensionen selbst durchmessend, durch Anstrengung un Erfahrung eines Bessern belehrt wird.

Hierher gehört auch die berühmte Frage, warum der Mond nahe de Horizonte gröfser aussieht, als wenn er hoch am Himmel steht, trotzde er wegen der atmosphärischen Strahlenbrechung im verticalen Durchmesse dort eigentlich kleiner aussehen sollte. Dafs er am Horizonte gröfse erscheint, weil er uns dort weiter entfernt erscheint, haben schon Ptolemae und die arabischen Astronomen[1] richtig gewufst. Die eigentliche Frage i also, warum erscheint uns das Himmelsgewölbe am Horizonte entfernter a im Zenith. Es sind eine Menge Motive dafür angeführt worden, waru dies so sei; ich glaube auch, dafs nicht nur eines, sondern viele verschieden Motive dahin zusammenwirken, wobei freilich schwer auszumitteln ist, welche das überwiegende in jedem einzelnen Falle sei.

---

[1] Montucla *Histoire des Mathém.* Vol. I, p. 309 u. 352. — Rogeri Baconis *Perspect.*, p. 118. — Porta, *De refractione*, p. 24, 128. — Priestley, *Geschichte der Optik.* Periode 6, Kap. 8.

Zunächst ist zu bedenken, dafs kein entscheidender Grund da ist, warum der Sternenhimmel uns als eine regelmäfsige Kugelfläche erscheinen sollte. Er zeigt unendlich entfernte Objecte; daraus folgt nur, dafs er als irgend welche Fläche von unbestimmter Form erscheinen kann, wenn irgend welche andere Motive ihm eine solche zuweisen. Wenn wir im leeren Raume schwebten und den Sternenhimmel gleichzeitig und gleichmäfsig in seiner ganzen Ausdehnung überschauen könnten, oder wenn seine Bewegung so schnell wäre, dafs wir eine wirkliche sinnliche Anschauung davon erhalten könnten, möchte mehr Grund sein, ihn gerade als Kugelfläche anzuschauen. So aber ist in der That seine scheinbare Richtung und Gestalt eine sehr wechselnde, je nachdem das Stück, was wir von ihm sehen, von verschiedenen irdischen Gegenständen eingefafst ist, und wir einen höheren oder tieferen Punkt fixiren. Wir werden später noch sehen, dafs wir eine Neigung haben, ihn bei ruhiger binocularer Fixation eines Punktes für eine auf die jedesmaligen Blicklinien senkrechte Ebene zu halten.

Ganz anders ist es mit dem Wolkenhimmel. Die Wolken sind meistens zwar auch weit genug von uns entfernt, dafs wir mittels der Erkennungsmittel, welche das zweiäugige Sehen und die Bewegung unseres Körpers uns gewähren, nichts oder so gut wie nichts über ihre Entfernung ausmachen können. Aber sie sind oft parallelstreifig, sie bewegen sich meistens in gleicher Richtung und mit constanter Geschwindigkeit über das Himmelsgewölbe hin, sie erscheinen in der Nähe des Horizontes strichförmig, von der hohen Kante gesehen und so beleuchtet, dafs man sie als perspectivisch verkürzte horizontal gedehnte Körper erkennen kann. Alles das kann dazu dienen, uns erkennen zu machen, dafs die wahre Form des Wolkenhimmels wenigstens im Zenith ein sehr plattes Gewölbe ist. Am Horizont freilich verlassen uns diese Hilfsmittel, und da erscheinen dann die Wolken wie die 631
Berge gleichmäfsig auf eine von unten nach oben ansteigende und allmählig sowohl in den Erdboden, wie in das Himmelsgewölbe übergehende Fläche gemalt zu sein. Da wir nun kein Mittel der sinnlichen Anschauung haben, um die Entfernung des Wolkenhimmels von der des Sternenhimmels zu trennen, so scheint es nur natürlich, dafs wir dem letzteren die wirkliche Form des ersteren, so weit wir sie unterscheiden können, mit zuschreiben, und dafs auf diese Weise die doch immer sehr vage, unbestimmte und veränderliche Vorstellung von der flach kuppelförmigen Wölbung des Himmels entsteht.

Recht entschieden und überraschend tritt übrigens die Vergröfserung des Mondes oder der Sonne nur dann auf, wenn die Luft am Horizont recht dunstig ist und die genannten Himmelskörper nur noch eine geringe Lichtstärke zeigen. Dann haben wir an ihnen dieselbe Wirkung wie an fernen Bergen, sie sehen viel entfernter als bei klarer Luft und deshalb gröfser aus. Auch verstärken passende irdische Objecte am Horizont die Wirkung sehr. Wenn der Mond zum Beispiel neben oder hinter einer etwa zwei tausend Fufs entfernten Baumkrone untergeht, welche selbst 20 Fufs Durch-

messer hat, so erscheint er unter demselben Gesichtswinkel, aber viel weite entfernt, also auch viel gröfser als der Baum; während er hinter flache Horizonte untergehend keinen Gegenstand zur Vergleichung findet, an de wir erkennen könnten, dafs seine geringe scheinbare Gröfse einer seh bedeutenden absoluten Gröfse entspricht.

Wenn man mittels einer planparallelen Glastafel ein Reflexbild de Mondes entwirft, welches scheinbar nahe am Horizonte gelegen ist, so find ich nicht, dafs dasselbe entschieden gröfser aussieht, als der direct gesehen Mond oben am Himmel, obgleich man die scheinbare Gröfse des reflectirte Mondes dann leicht mit den gleichzeitig gesehenen irdischen Körpern ve gleichen kann. Es fehlt aber dem Spiegelbilde das Aussehen, als sei (durch den dunstigen Theil der Atmosphäre gesehen.

Auch scheint mir, dafs die scheinbare Vergröfserung am Horizonte vi bemerklicher am Monde auftritt, als an der Sonne, die, wenn man ih Gestalt überhaupt noch erkennen kann, gewöhnlich auch noch hell genug is dafs man sie nicht ganz bequem betrachten kann, und dafs sie also au nicht unmittelbar mit den irdischen Objecten des Horizonts auf eine Lin gestellt werden kann. Bei recht klarem Himmel ist aber die Täuschu auch für den Mond nicht gerade sehr evident. Sie hängt immer in se hohem Grade vom Zustande der Atmosphäre ab.

Die bisher genannten Motive sind es allein, welche die Maler benutz können, um durch flächenhafte Zeichnungen und Gemälde eine Vorstellu von den dargestellten körperlichen Objecten zu geben. Leichter ist ih Aufgabe, wo es sich um Objecte von wohlbekannter oder von geometris regelmäfsiger Form handelt, ersteres namentlich bei menschlichen u thierischen Gestalten, letzteres bei Häusern, Geräthen und anderen Erzeu nissen menschlichen Kunstfleifses. Bei solchen ist eine richtige perspectivisc Zeichnung schon meistens ausreichend und kann durch eine richtige Schatte
632 gebung sehr lebendig gemacht werden. In der Kunst der kräftigen Schatte gebung, welche die Körperform so sehr deutlich heraustreten läfst, si bekanntlich die alten Meister des Porträtirens so ausgezeichnet gewese Ein allseitig beleuchtetes, schwach beschattetes Gesicht, noch so richt dargestellt, giebt einen lebhaften Eindruck allenfalls, so lange man die da gestellte Person noch oft sieht, aber es verliert seine Lebendigkeit bal wenn dies nicht mehr geschieht. Schwieriger ist die Aufgabe des Male wenn er Naturgegenstände von unregelmäfsiger Form darzustellen h Landschaften, Berge, Felsen. Die Staffage mit Menschen, Thieren, Bäume Häusern giebt dann ein wichtiges äufserliches Hilfsmittel ab, um d Entfernung der dargestellten Objecte ungefähr zu bezeichnen. Luftperspecti aber und Schatten sind die Hauptmittel. Daher ist nicht jede Beleuchtu einer Landschaft zur Darstellung geeignet. Ein gewisser Grad der Trübu der Luft und eine niedrig stehende Sonne, welche viel Wechsel v Schatten und Licht hervorbringt, sind wesentliche Erfordernisse, um n die Formen der Landschaft deutlich werden zu lassen, abgesehen v

den reicheren und mannigfacheren Färbungen, die auch ihre Schönheit erhöhen.

Die bisher beschriebenen Motive der Tiefenanschauung sind auch in psychologischer Beziehung interessant und wichtig, weil sie zeigen, welchen Einfluſs die Erfahrung auf unsere scheinbar ganz unmittelbar und ohne Hilfe geistiger Thätigkeiten gewonnenen Sinneswahrnehmungen hat. Die Gesetze der Beleuchtung, des Schlagschattens, der Lufttrübung, der perspectivischen Darstellung und Deckung verschiedener Körper, die Gröſse der Menschen und Thiere u. s. w. können wir erst durch Erfahrung kennen gelernt haben; wenigstens hat noch kein Vertheidiger der angeborenen Anschauungen ihre angeborene Ursprünglichkeit zu behaupten gewagt, und für einige derselben, welche längere Einübung erfordern, kann man, wie oben bemerkt, bei Kindern direct nachweisen, daſs sie nicht angeboren sind. Und doch genügen diese Momente in vielen Verhältnissen, um eine Anschauung der räumlichen Formen und Verhältnisse von vollkommener sinnlicher Lebhaftigkeit hervorzurufen, ohne daſs irgend ein Bewuſstsein davon in uns rege wird, wie hierbei die Vergleichung des jetzigen Eindrucks mit früheren Eindrücken ähnlicher Art in das Spiel kommt. Das gegenwärtige Bild ruft in uns wach die Erinnerung an alles, was in früheren Gesichtsbildern Aehnliches sich gefunden hat, und auch an alles, was von sonstigen Erfahrungen mit diesen früheren Gesichtsbildern regelmäſsig verbunden war, also zum Beispiel die Anzahl von Schritten, die wir haben machen müssen, um an einen Menschen heranzukommen, dessen Erscheinung im Gesichtsfelde eine gewisse Gröſse gehabt hatte u. s. w. Diese Art der Association der Vorstellungen geschieht nicht bewuſst und nicht willkürlich, sondern wie durch eine blinde Naturgewalt, wenn auch nach den Gesetzen unseres eigenen Geistes, und sie tritt deshalb in unseren Wahrnehmungen ebenso gut als eine äuſsere uns zwingende Macht auf, wie die von auſsen kommenden Eindrücke, und was wir daher vermittels dieser auf die gesammelten Erfahrungen sich stützenden Ideenassociationen den gegenwärtigen Empfindungen hinzufügen, erscheint ebenso gut, wie letztere, uns ohne Willkür und ohne bewuſste Thätigkeit von unserer Seite als unmittelbar gegeben, also als unmittelbare Wahrnehmung, 633
während es doch nur zu den Vorstellungen zu rechnen ist.

Besonders interessant sind hierbei solche Fälle, wie die Täuschungen über das Relief von Medaillen, von perspectivischen Zeichnungen und andere ähnliche, wo ein Schwanken zwischen zwei Deutungen möglich ist. Hier finden wir, daſs wir beim ersten Anblick in eine dieser Deutungen unwillkürlich verfallen, und zwar der Regel nach wohl in diejenige, welche die gröſste Anzahl ähnlicher Erinnerungsbilder zurückruft, wie bei den Reliefs von menschlichen Gesichtern, wo wir der Regel nach die der Wirklichkeit entsprechende convexe Form zu sehen glauben. In andern Fällen schwankt es unwillkürlich, wie bei Sinsteden's Windmühle, wenn durch äuſsere Zufälligkeiten oder Bewegungen des Auges bald diese bald jene Aehnlichkeit uns näher tritt. Aber wir können auch absichtlich einen Wechsel der

Deutung hervorbringen, wenn wir die Vorstellung der entgegengesetzte Figur möglichst lebhaft in uns aufrufen, bis deren Aehnlichkeit mit den eben angeschauten Gesichtsbilde sich geltend macht, wo sie dann von selbs und ohne weitere Anstrengung stehen bleibt. Während der Zeit aber, w sie stehen bleibt, besteht sie mit der vollen Energie sinnlicher Gewifsheit und wenn sich in Folge irgend eines wechselnden Umstandes die entgegen gesetzte Deutung wieder hervordrängt, hat auch diese wiederum dieselb Deutlichkeit und Sicherheit, wenn auch das selbstbewufste Denken nu aufmerksam wird, dafs es mit einer zweideutigen Anschauung zu thun hat

Wir gehen jetzt über zur zweiten Klasse der Momente, auf welche sic die Tiefenwahrnehmung stützt, solche nähmlich, denen bestimmte sinnlich Empfindungen zu Grunde liegen. Unter ihnen ist zuerst zu erörtern, wi viel die Accommodation des Auges leisten kann. Es ist kein Zweif darüber, dafs Jemand, der seine Accommodationsänderungen viel beobacht hat und das Muskelgefühl der dazu gehörigen Anstrengung kennt, im Stand ist anzugeben, ob er bei der Fixirung eines Gegenstandes oder eine optischen Bildes für grofse oder kleine Sehweiten accommodirt. Aber di Beurtheilung der Entfernung mittels dieses Hilfsmittels ist äufserst un vollkommen. Wundt[1] hat darüber Versuche angestellt, indem er de Beobachter mit einem Auge durch eine Oeffnung eines feststehende Schirms nach einem vertical ausgespannten schwarzen Faden hinblicke liefs. Eine weifse Tafel bildete den Hintergrund. Der Faden konnte läng einer horizontal liegenden Scale verschoben und in gemessene Entfernunge vom Beobachter gestellt werden. Ueber seine absolute Entfernung konnte dabei so gut wie gar keine Angaben gemacht werden; wohl aber zeigte e sich, dafs, wenn dem Faden nach einander zwei verschiedene Stellunge gegeben wurden, mittels der veränderten Accommodation erkannt werde konnte, ob sich der Faden entfernt oder genähert habe. Doch wurde dab eine Annäherung des Fadens, wobei die active Muskelanstrengung de Accommodationsapparats zunehmen muss, deutlicher erkannt, als ein Entfernung desselben. Die bei den Versuchen eintretende Ermüdung de
634 Auges bewirkte eine wachsende Unsicherheit in der Wahrnehmung auch de Annäherungen. Wundt giebt folgende Resultate seiner Versuche:

Entfernung des Fadens vom Auge	Unterscheidungsgrenze für Annäherung	Unterscheidungsgrenze für Entfernung
250 Ctm.	12 Ctm.	12 Ctm.
220 ,,	10 ,,	12 ,,
200 ,,	8 ,,	12 ,,
180 ,,	8 ,,	12 ,,
100 ,,	8 ,,	11 ,,
80 ,,	5 ,,	7 ,,
50 ,,	4,5 ,,	6,5 ,,
40 ,,	4,5 ,,	4,5 ,,

[1] W. Wundt, *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Leipzig und Heidelberg 1862. S. 105–11

Wenn zwei Fäden in verschiedener Entfernung gleichzeitig ausgespannt wurden, ergaben sich dieselben Resultate wie für die Annäherung eines Fadens.

Ich habe am Ende einer innen geschwärzten Röhre einen schwarzen Schirm mit zwei senkrechten Spalten angebracht, dann den einen mit einem rothen, den andern mit einem blauen Glase geschlossen. Ich bedurfte einer erheblich stärkeren Accommodationsanstrengung, um den rothen Streifen deutlich zu sehen, als für den blauen. Nach langen Vergleichen beider Streifen entstand auch endlich der Eindruck, als wäre der rothe Streifen näher, der blaue ferner, aber die Täuschung trat schwer ein und schwand leicht wieder, sie liefs sich nur durch fortdauernd wechselnde Accommodation für den einen und den andern Streifen unterhalten. Die Täuschung liefs sich dadurch unterstützen, dafs ich den rothen Streifen etwas breiter machte und ihm auch dadurch das Ansehen eines näheren Objectes gab.

Wichtiger aber und genauer als die genannten Hilfsmittel, die Entfernungen zu schätzen, ist die Vergleichung der perspectivischen Bilder, welche derselbe Gegenstand, von verschiedenen Standpunkten aus gesehen, darbietet. Eine solche Vergleichung kann praktisch in doppelter Weise zu Stande kommen, entweder monocular bei Fortbewegung des Kopfes und Körpers, oder binocular mittels der beiden verschiedenen Bilder, welche beide Augen gleichzeitig von demselben Gegenstande geben. Da die beiden Augen etwas verschiedenen Ort im Raume haben, so sehen sie auch die vor uns liegenden Gegenstände von zwei etwas verschiedenen Gesichtspunkten aus und erzeugen dadurch eine ähnliche Verschiedenheit der Bilder, wie sie durch Fortbewegung im Raume nach einander hervorgebracht wird.

Wenn wir vorwärts gehen, so bleiben die Gegenstände, welche sich am Wege ruhend befinden, hinter uns zurück; sie gleiten in unserem Gesichtsfelde scheinbar an uns vorbei, und zwar in entgegengesetzter Richtung, als wir fortschreiten. Entferntere Gegenstände thun dasselbe, aber langsamer, während sehr entfernte Gegenstände, wie die Sterne, ruhig ihren Platz im Gesichtsfelde behaupten, so lange wir die Richtung unseres Körpers und Kopfes beibehalten. Es ist leicht ersichtlich, dafs die scheinbare Geschwindigkeit der Winkelverschiebungen der Gegenstände im Gesichtsfelde hierbei ihrer wahren Entfernung umgekehrt proportional sein mufs, so dafs aus der Geschwindigkeit der scheinbaren Bewegung sichere Schlüsse auf die 635
wahre Entfernung gemacht werden können.

Die Gegenstände verschiedener Entfernung verschieben sich dabei auch scheinbar gegen einander. Die entfernteren gehen im Vergleich zu den näheren scheinbar in Richtung des Beobachters vorwärts, die näheren umgekehrt scheinbar zurück. Dadurch entsteht eine sehr deutliche Anschauung ihrer verschiedenen Entfernung. Wenn man zum Beispiel in einem dichten Walde still steht, ist es nur in undeutlicher und gröberer Weise möglich, das Gewirr der Blätter und Zweige, welches man vor sich hat, zu trennen und zu unterscheiden, welche diesem und jenem Baume angehören,

in welcher Entfernung die einzelnen hinter einander sich befinden u. s. w. So wie man aber sich fortbewegt, löst sich alles von einander, und mar bekommt sogleich eine körperliche Raumanschauung von dem Walde, gerad(so, als wenn man ein gutes stereoskopisches Bild desselben ansähe.

Auch ist leicht einzusehen, dafs sich durch diese scheinbaren Verschiebungen der einzelnen Stämme, Aeste und Blätter gegen einander de wirkliche Wald im unmittelbaren sinnlichen Eindrucke durchaus unterscheide1 mufs von jedem noch so vollkommenen Gemälde dieses Waldes. Wenn wi an der ebenen Fläche des Gemäldes uns vorüberbewegen, bleibt die scheinbare Lage aller Theile desselben gegen einander im Gesichtsfelde durchau die gleiche. Die, welche entfernte Objecte darstellen, verschieben sich gege1 den Beobachter durchaus in derselben Weise, als benachbarte Theile, welch nahen Objecten entsprechen. Ein Gemälde kann immer nur den Anblicl des Gegenstandes von einem einzigen festen Gesichtspunkte aus gesehe darstellen; wollen wir durch dasselbe eine möglichst vollkommene Täuschun hervorrufen, so mufs auch der Beschauer seinen Standpunkt unveränder beibehalten. Jede Bewegung läfst sogleich den Unterschied zwischen der Urbilde und dem Abbilde in sinnlicher Erscheinung hervortreten.

Nähere Gegenstände bewegen sich schneller, entferntere langsame1 Wenn wir selbst uns ungewöhnlich schnell bewegen, zum Beispiel in Eisenbahnzügen, so erscheinen uns die schnell vorübergleitenden Gegenständ deshalb leicht zu nah, und in Folge dessen auch kleiner, als sie sind. E ist dies eine Gesichtstäuschung, welche von vielen Personen beobachtet un beschrieben wird[1]. Ich selbst habe diese Verkleinerung niemals recht deutlich sehen können, wie es denn viele solche Täuschungen giebt, welche b(der Gewohnheit gröfserer Anfmerksamkeit auf die Gesichtserscheinungen vo selbst schwinden, weil der Beobachter sich in seinem Urtheil von den störende Einflüssen unabhängig zu machen lernt.

Auch bei wissenschaftlichen Beobachtungen kann man die scheinbare relativen Verschiebungen verschieden entfernter Gegenstände oft benutze1 Soll man zum Beispiel das Fadenkreuz eines Fernrohrs auf das Bild de Objectes genau einstellen, so bewege man das Auge hinter dem Ocular ei wenig hin und her, von rechts nach links und zurück. Man wird dan
636 sogleich sehen, ob das Fadenkreuz dabei im Verhältnifs zum Bilde still stel oder sich verschiebt. Im ersten Falle fällt es mit dem Bilde zusamme1 Im zweiten ist es vor oder hinter ihm; und welches von beiden der Fa sei, ergiebt sich ebenfalls sogleich.

Die Bestimmungen der Fixsternparallaxen beruhen bekanntlich a1 derselben scheinbaren Verschiebung, wobei nur als Mittel der Fortbewegun des Beobachters die Bewegung der Erde um die Sonne benutzt wird.

Ich glaube auch, dafs die Veränderungen des Retinalbildes bei B(wegungen des Körpers es hauptsächlich sind, wodurch einäugige Persone

---

[1] DOVE in *Poggendorff's Annalen 1847.* LXXI, S. 118.

sich richtige Anschauungen von den körperlichen Formen der Umgebungen verschaffen. Wenn Jemand, der zwei gesunde Augen besitzt, eines derselben schliefst und unregelmäfsig gestaltete, unbekannte Gegenstände einäugig betrachtet, so erhält er eine falsche oder mindestens unsichere Vorstellung von ihrer Form. So wie er sich aber bewegt, gewinnt er sogleich die rich- tigen Anschauungen.

Auch vergesse man nicht, worauf bisher noch nicht immer der nöthige Nachdruck gelegt worden ist, dafs in allen physiologisch-optischen Versuchen, wo es sich um Beurtheilung der Entfernung eines irgend wie gesehenen Objectes oder Bildes handelt, wohl darauf zu achten ist, dafs der Kopf eine Lage gegen das Gesehene nicht ändere, sonst tritt sogleich eine ver- ältnifsmäfsig gute und genaue Bestimmung der wirklichen Entfernung durch ie dabei beobachtete Verschiebung ein.

Bei den bisher besprochenen Aenderungen des Retinalbildes durch Bewegung entsteht eine Anschauung von den Entfernungsunterschieden nur adurch, dafs das augenblicklich bestehende Bild verglichen wird mit den n der Erinnerung bewahrten unmittelbar vorhergegangenen Bildern im Auge. Vir haben schon in der Lehre vom Contrast hervorgehoben, dafs eine ergleichung mittels der Erinnerung viel unsicherer zu sein pflegt, als eine ergleichung zweier gegenwärtiger sinnlicher Eindrücke. So ist nun auch ie Beurtheilung der Entfernungen mittels der gleichzeitigen Bilder beider ugen viel vollkommener, sicherer und genauer, als sie durch Bewegungen enigstens innerhalb so geringer Distanzen, wie die Entfernung der Augen on einander ist, gewonnen werden kann.

Jedes einzelne Auge zeigt uns ein perspectivisches Bild der vor uns elegenen Gegenstände. Da aber beide Augen nicht denselben Platz im aume einnehmen, also die Objecte von etwas verschiedenen Gesichtspunkten is betrachten, so sind die beiden perspectivischen Bilder, welche sie von nen entwerfen, auch etwas von einander verschieden. Wenn ich ein Blatt apier so vor mich hinhalte, dafs es in die verlängerte Mittelebene meines opfes fällt, so sehe ich mit dem rechten Auge die rechte Seite des Papiers, it dem linken die linke. Das entferntere Ende dieses Papiers erscheint Bilde meines rechten Auges rechts, in dem des linken links von dem heren zu liegen. Aehnliche Unterschiede, mehr oder weniger merklich, rd man bei genauerer Aufmerksamkeit viele finden, so oft man mit beiden gen eine Anzahl verschieden entfernter Gegenstände betrachtet. Es sind terschiede derselben Art und Gröfse, wie sie entstehen, wenn man das sichtsfeld einäugig ansieht, das Auge aber fortbewegt um eine Strecke, lche der Entfernung beider Augen von einander gleich ist.

Betrachtet man dagegen eine ebene Zeichnung oder ein ebenes Gemälde, 637
erhalten beide Augen dadurch durchaus dasselbe Netzhautbild (abgesehen va von den perspectivischen Verziehungen, die die Ebene des Gemäldes bst in den beiden Netzhautbildern erleiden kann), während der im Ge- lde dargestellte Gegenstand, wenn er nicht selbst eben ist, nothwendig

in beiden Augen verschiedene Netzhautbilder hervorrufen würde. Dadurc ist also wiederum in der unmittelbaren sinnlichen Anschauung ein Kenn zeichen gegeben, wodurch sich der Anblick eines jeden nach drei Dimen sionen ausgedehnten Objects unterscheiden mufs von dem Anblick eine ebenen Bildes desselben Objects.

Auch ist klar, dafs, wenn der Ort der beiden Netzhautbilder eine leuchtenden Punktes gegeben ist, daraus für die wissenschaftliche Unter suchung wenigstens, wenn auch noch nicht nothwendig für das gemein Bewufstsein, unzweideutig der Ort des leuchtenden Punktes gefunden werde kann. Man lege durch jedes Netzhautbild und den Knotenpunkt de betreffenden Auges eine gerade Linie, so mufs, wie wir früher gezeigt habe der leuchtende Punkt selbst in jeder dieser beiden Richtungslinien liege Also liegt er, wo sich beide schneiden.

Während also durch das einäugige Sehen bei ruhendem Kopfe nur di Richtung, in welcher der gesehene Punkt sich befindet, bestimmt ist, giel das zweiäugige Sehen hinreichende Beobachtungsthatsachen, dafs aus ihne auch die Entfernung des gesehenen Punktes bestimmt werden kann, wenigste insoweit, als die vorhandenen Data hinreichende Genauigkeit dazu haben ur zu dem angegebenen Ende zweckmäfsig benutzt werden. Im Allgemeine ist die Genauigkeit in der Bestimmung der Entfernung desto kleiner, . gröfser diese selbst ist, da weit entfernte Gegenstände in beiden Augen nic mehr merklich verschiedene Bilder geben.

Dafs nun in der That auf diesem Wege aufserordentlich genaue u deutliche sinnliche Anschauungen der Entfernungen gewonnen werden, läf sich mittels der stereoskopischen Bilder zeigen; es sind dies Bilde von denen je zwei zusammengehörige die beiden Ansichten darstellen, welc das rechte und das linke Auge desselben Beobachters von dem dargestellt Objecte haben.

Wir haben gesehen, dafs ein einzelnes ebenes Bild, mit beiden Aug gesehen, stets einen andern Eindruck machen mufs, als der Gegenstand d Bildes, selbst gesehen, machen würde. Wenn wir nun aber beiden Aug verschiedene Bilder zeigen, einem jeden dasjenige, welches es bei Betrachtu des Gegenstandes selbst wirklich gesehen haben würde, so sind wir im Stand denselben Eindruck auf beiden Netzhäuten hervorzurufen, den der räumli ausgedehnte Gegenstand wirklich gemacht haben würde, und unter dies Umständen gewinnen wir durch die beiden Bilder in der That diesel Anschauung der körperlichen Form, wie bei wirklicher Betrachtung d Gegenstandes selbst.

Zwei Bilder, welche einen stereoskopischen Effect machen sollen, müss also zwei verschiedenen perspectivischen Ansichten desselben Gegenstand entsprechen, welche von verschiedenen Gesichtspunkten aus aufgenomm sind. Sie dürfen einander also nicht gleich sein, vielmehr müssen, verglich mit den Bildern unendlich entfernter Punkte, die Bilder näherer Punkte der Zeichnung für das rechte Auge desto mehr nach links hin, in dem Bil

für das linke Auge desto mehr nach rechts hin liegen, je näher die Objecte 638
dem Beobachter sind. Denkt man sich also die Zeichnungen so aufeinander gelegt, dafs die Bilder der unendlich entfernten Gegenstände aufeinander fallen, so werden die Bilder der näheren Objecte desto weiter auseinander fallen, je näher sie sind. Ihre Distanz kann man die stereoskopische Parallaxe nennen. Diese ist positiv, wenn die näheren Punkte für das rechte Auge nach links, für das linke nach rechts abweichen. Die stereoskopische Parallaxe ist gleich grofs für Objecte, welche gleichen Abstand von der Ebene der Zeichnung haben.

Sind keine unendlich entfernten Objecte in der Zeichnung dargestellt, o kann man nur die Unterschiede der stereoskopischen Parallaxe ermitteln n Bezug auf irgend welchen beliebigen Punkt des Objects. Die Parallaxe n Bezug auf solchen Ausgangspunkt ist dann positiv für die näheren, negativ ür die entfernteren übrigen Punkte.

Nennen wir den Abstand der Augen $2a$, den Abstand der Zeichnung on den Augen b, den Abstand des Objects von einer parallel der Zeichnung urch die Augen gelegten Ebene ϱ, und e die stereoskopische Parallaxe, so t diese

$$e = \frac{2ab}{\varrho},$$

ird also desto kleiner, je entfernter das Object, und für unendlich entfernte bjecte gleich Null.

Die zusammengehörigen stereoskopischen Bilder müssen bei einem lchen Versuche so vor die beiden Augen gebracht werden, dafs die unendh entfernten Punkte darin beiden Augen in derselben Richtung erscheinen. an kann dies ohne Instrument erreichen, wenn man beide Bilder neben nander legt, eins rechts, das andere links, so dafs zusammengehörige Punkte rselben etwa so weit von einander entfernt sind, als die Knotenpunkte r beiden Augen des Beobachters. Wenn der Beobachter sich dann mit rallel gerichteten Gesichtslinien vor die Bilder stellt, so sieht er sie beide t beiden Augen in gleicher Richtung und die stereoskopische Täuschung tt ein. Freilich sieht er hierbei mit dem rechten Auge nicht blos das hte Bild, sondern links daneben auch noch das für das linke Auge timmte Bild, und ebenso mit dem linken Auge nicht blos das letztere d, sondern rechts daneben auch noch das andere. Wenn die richtige llung der Augen gefunden ist, sieht der Beobachter also neben einander einbar drei Bilder, von denen die beiden äufsern nur mit je einem Auge ehen sind (das rechte vom linken, das linke vom rechten Auge) und ht körperlich erscheinen, das mittlere beiden Augen zugleich angehört l körperlich erscheint.

Bei dem beschriebenen Versuche ist die Anwesenheit der drei Bilder rend; aufserdem mufs man für die Nähe accommodiren, während man die ichtslinien parallel einstellt, wie es beim Betrachten ferner Gegenstände

der Fall ist, und wobei man gewöhnt ist die Accommodation für die Ferne einzurichten. Deshalb gehört einige Uebung dazu, ehe man in dieser Weise ohne weitere Hilfsmittel stereoskopisch sehen lernt. Uebrigens ist die dabei entstehende Gesichtstäuschung ebenso vollkommen, wie bei der Anwendung
639 der gleich zu beschreibenden Instrumente. Ungeübte erleichtern sich das Gelingen des Versuchs, wenn sie nach den beiden Zeichnungen durch zwei innen geschwärzte Röhren blicken, weil dann die Nebenbilder fortfallen, und wenn sie dabei den beiden Zeichnungen eine geringere Distanz geben, als die der Augen ist. Bei einiger Uebung gelingt es auch ohne solche Hilfe, und es ist dies sogar die bequemste Art, grofse Mengen stereoskopischer Bilder hinter einander durchzusehen. Statt die Gesichtslinien nach einem weit entfernten Punkte einander nahehin parallel zu richten, kann man sie auch nach einem näheren Punkte convergiren lassen und die stereoskopischen Bilder zur Deckung bringen, indem man das rechte Auge nach dem linken, das linke nach dem rechten Bilde hinwendet, wobei ihre Blicklinien sich also zwischen den Bildern und dem Beobachter schneiden. Die Stellung der Augen ist dabei also so, als wenn man diesen Schnittpunkt fixirte, und dort, also den Augen näher, als die Bilder wirklich sind, erscheint auch der stereoskopisch gesehene Gegenstand. Bei diesem Versuche mufs man aber natürlich auch das für das rechte Auge bestimmte Bild nach links legen, das für das linke nach rechts, sonst wird die stereoskopische Parallaxe negativ, und man bekommt verkehrtes Relief, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man zwei neben einander liegende Linienzeichnungen ohne Schattirung, zum Beispiel von Krystallmodellen bald mit ungekreuzten, bald mit gekreuzten Blicklinien combinirt.

Die Instrumente, welche unter dem Namen der Stereoskope zur Betrachtung der stereoskopischen Bilder gebraucht werden, haben nur zum Zweck, dem Beobachter die Auffindung und Erhaltung der richtigen Augenstellung zu erleichtern und die störenden Nebenumstände wegzuschaffen; für die Erzeugung der Gesichtstäuschung sind sie ohne wesentlichen Vortheil.

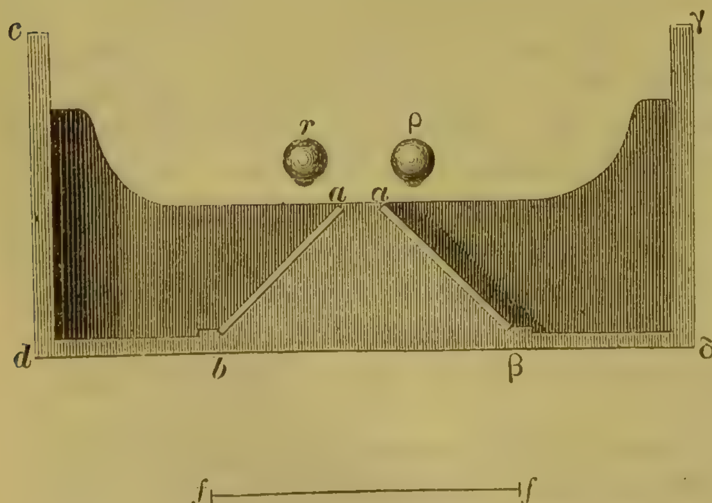


Fig. 230.

Das erste war das Stereoskop von Wheatstone, im Durchschnitte dargestellt in *Fig. 230.* Der wesentliche Theil des Instruments sind zwei Spiegel *ab* und *αβ*, welche unter 45° gegen den Horizont geneigt sind, und deren nach oben gekehrte Flächen spiegeln; *cd* und *γδ* sind Brettchen, an denen die Zeichnungen angebracht werden. Der Beobachter, dessen Augen durch *r* und

angedeutet sind, blickt von oben her in die Spiegel. Das Licht, was von cd kommt, wird vom Spiegel ab gegen das Auge r so reflectirt, als käme es von dem Spiegelbilde ff. Aber auch das von $\gamma\delta$ kommende Licht wird durch den Spiegel $\alpha\beta$ nach dem Auge ϱ so reflectirt, als käme es vom Bilde ff. So glauben also beide Augen das betreffende Bild bei ff zu sehen, und wenn nun die beiden Bilder Unterschiede zeigen, wie sie ein bei f befindlicher Gegenstand zeigen würde, so entsteht derselbe sinnliche 640
Eindruck, als sähe der Beobachter bei ff nicht die Bilder, sondern den räumlich ausgedehnten Gegenstand. Da die Zeichnungen hierbei durch Spiegel gesehen werden, welche rechts in links verkehren, so müssen sie negative stereoskopische Parallaxe haben.

Das Stereoskop von Brewster, welches gegenwärtig am meisten verbreitet ist, enthält zwei Prismen p und π mit convexen Flächen, Stücke aus einer dicken Convexlinie von 0,18 Meter Brennweite, die optisch wirken wie die Combination eines ebenen Prisma mit einer Convexlinse. Die beiden Zeichnungen ab und $\alpha\beta$, *Fig. 231*, befinden sich nebeneinander auf demselben Blatte. Das rechte Auge r blickt durch das Prisma p nach der Zeichnung ab, das linke Auge ϱ durch das Prisma π nach der Zeichnung $\alpha\beta$; die Scheidewand g hindert, daſs jedes Auge die für das andere bestimmte Zeichnung sehen kann. Die von den Zeichnungen ausgehenden Strahlen cp und $\gamma\pi$ werden durch die Prismen in die Richtungen pr und $\pi\varrho$, welche verlängert sich in q schneiden, gebrochen. Durch die convexen Flächen der Prismen werden die Strahlenbündel zugleich weniger divergent gemacht, so daſs beide Augen ein Bild der zugehörigen Zeichnung in $f\varphi$ sehen. Das Object erscheint körperlich in der Lage $f\varphi$. Das Ganze ist in einen passenden Holzkasten eingeschlossen; um transparente Bilder betrachten zu können, befindet sich hinter den Zeichnungen $ab\,\alpha\beta$ eine mattgeschliffene Glasplatte. Die Bilder werden durch passende Spalte an den Seiten des Kastens bei a und β ein- und ausgeschoben.

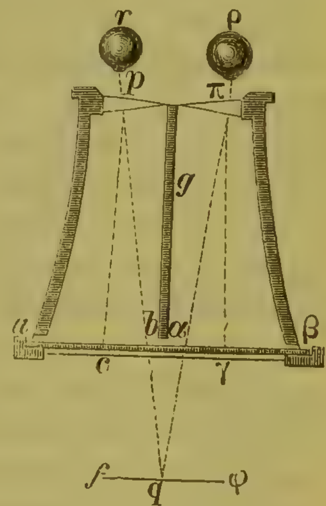


Fig. 231.

Das Stereoskop von Brewster ist viel compendiöser, als das von Wheatstone, man kann leichter eine gleichmäſsige Beleuchtung beider Bilder bewirken und die Zeichnungen erscheinen vergröſsert; doch ist zu bemerken, daſs an den Grenzen von Hell und Dunkel schmale farbige Ränder auftreten, wenn die Prismen nicht achromatisch gemacht werden, was übrigens an manchen dieser Instrumente geschehen ist. Andere Formen von Stereoskopen werden weiter unter beschrieben werden.

Am schlagendsten treten die Wirkungen des Stereoskops hervor an Zeichnungen, welche nur Umrisse von Körpern und Flächen darstellen, wo die weiteren Hilfsmittel der Täuschung, Farbe, Schatten u. s. w. fortfallen,

und doch die schwarzen Linien von der Fläche des Papiers vollkommen losgelöst und durch den Raum hingezogen erscheinen. Selbst die verwickeltesten stereometrischen Zeichnungen, Darstellungen von Krystallmodellen, die ohne Stereoskop gesehen kaum verständlich sind, lösen sich vollständig auf und erscheinen als räumliche Gebilde.

Während bei solchen Linienfiguren der Unterschied zwischen dem stereoskopischen und nicht stereoskopischen Anblicke am auffallendsten ist, ist die Lebhaftigkeit der Täuschung selbst natürlich am gröfsten, wenn auch durch eine naturgetreue Schattirung die Körperform herausgehoben ist.
641 Doch ist es fast unmöglich, mit dem Bleistift oder dem Pinsel in der Schattirung von Zeichnungen die feinen Unterschiede beider Bilder genau wiederzugeben, welche dem Bilde des rechten und linken Auges entsprechen, und nur mit Hilfe der Photographie gelingt es, die genaue Uebereinstimmung beider Bilder zu erreichen, welche für einen guten stereoskopischen Eindruck nöthig ist. Da dergleichen stereoskopische Photographien jetzt überall im Handel zu haben sind, so darf ich voraussetzen, dafs sie meinen Lesern allgemein bekannt sind. Sie werden angefertigt, indem man denselben Gegenstand zwei Mal photographisch abbildet, und zwar von zwei etwas verschiedenen Standpunkten aus. Entweder thut man es gleichzeitig mit zwei photographischen Apparaten oder schnell nach einander mit demselben Apparate. Die Anwendung von zwei Apparaten ist namentlich bei schnell veränderlichen Gegenständen nöthig. Schon wenn die Objecte von der Sonne direct beleuchtet sind, verschieben sich die Schlagschatten oft merklich zwischen der Aufnahme des ersten und zweiten Bildes, da doch gewöhnlich 5 bis 10 Minuten vergehen, ehe der Apparat für die zweite Aufnahme eingestellt ist. Noch nothwendiger ist die Anwendung zweier photographischer dunkler Kammern, wenn sogenannte instantane Bilder von beweglichen Gegenständen, Wellen, Schiffen, Pferden u. s. w. gemacht werden sollen, bei denen unter Benützung scharfer Sonnenbeleuchtung und sehr empfindlicher photographischer Präparate die Expositionszeit auf einen Bruchtheil einer Secunde beschränkt werden kann.

Die Naturwahrheit solcher stereoskopischer Photographien und die Lebhaftigkeit, mit der sie die Körperform darstellen, ist nun in der That so grofs, dafs manche Objecte, zum Beispiel Gebäude, die man aus stereoskopischen Bildern kennt, wenn man später in Wirklichkeit vor sie hintritt, nicht mehr den Eindruck eines unbekannten oder nur halb bekannten Gegenstandes machen. Man gewinnt in solchen Fällen durch den wirklichen Anblick des abgebildeten Gegenstandes, wenigstens für die Formverhältnisse, keine neuen und genaueren Anschauungen mehr, als man schon hat. Wie viel durch das stereoskopische Sehen gewonnen wird, ist auch hierbei natürlich am auffallendsten an den Bildern solcher Gegenstände, welche sich schlecht zur Darstellung in einer einfachen Zeichnung oder einem Gemälde eignen, wie zum Beispiel an Bildern von unregelmäfsigen Felsen, Eisblöcken, mikroskopischen Objecten, Thieren, Wäldern u. s. w. Namentlich die Al

bildungen von Gletschereis mit seinen tiefen Spalten, welche durch die Masse des Eises hindurch erleuchtet sind, machen eine überraschende Wirkung. Das einzelne Bild, einzeln betrachtet, macht in solchem Falle gewöhnlich nur den Eindruck eines unverständlichen Aggregats grauer Flecke, während in der stereoskopischen Combination die Formen der Eisblöcke, so wie das transparente und reflectirte Licht derselben auf das deutlichste hervortreten. Es wird in diesem Falle das Verständnifs des einzelnen Bildes so schwer, weil einmal schon so unregelmäfsige Formen, wie die der Eisblöcke, auch bei blosser Beleuchtung durch auffallendes Licht nicht deutlich wiederzugeben sind, vollends aber bei der transparenten Beleuchtung auch die gewöhnlichen Gesetze der Schattirung ganz abgeändert werden.

Sehr überraschend ist auch die stereoskopische Darstellung glänzender Gegenstände, z. B. einer von leichten Wellen bewegten Wasserfläche; doch können wir die stereoskopische Darstellung des Glanzes erst im folgenden 642
Paragraphen besprechen.

Wir gehen nun über zur Untersuchung der Genauigkeit, mit welcher ich die Tiefendimensionen des Gesichtsfeldes mittels der gleichzeitigen hätigkeit beider Augen beurtheilen lassen. Dabei haben wir zu unter-cheiden die **Beurtheilung der absoluten Entfernung** der gesehenen bjecte, und die **Beurtheilung der Entfernungsunterschiede** ver-chiedener Objectpunkte. Die erstere kann bei Ausschlufs der früher esprochenen Momente nur gestützt werden auf die Empfindung des absoluten rades der Convergenz, in welchem sich die beiden Blicklinien befinden, enn sie auf einen gewissen Objectpunkt gerichtet sind; die Unterschiede er beiden Netzhautbilder können dazu nichts beitragen, oder wenigstens nd, wie es scheint, diejenigen Unterschiede der Bilder, welche etwa dazu eitragen könnten, zu unbedeutend, als dafs daraus ein wirklicher Nutzen ezogen würde. — Die Beurtheilung der Entfernungsunterschiede verschiedener bjectpunkte beruht auf dem Unterschiede der Bilder in beiden Sehfeldern. e könnte beruhen, einmal auf einer Perception des Unterschiedes der iden Netzhautbilder bei ruhenden Blicklinien, oder auf einer Perception r Bewegungsunterschiede, welche eintreten, wenn die Augen von der xation eines Objectpunktes zu der eines andern übergeführt werden. Bei n bisherigen Versuchen hat sich noch kein Unterschied in der Schärfe r Wahrnehmung herausgestellt, der von der Vermeidung oder Ausführung n Augenbewegungen abhinge, und die Vergleichung der Netzhautbilder eint daher mit so überwiegender Feinheit vollzogen zu werden, dafs die wegungsunterschiede daneben nicht berücksichtigt zu werden brauchen. r werden später indessen sehen, dafs namentlich bei schwer zu com-irenden Bildern die Evidenz der Täuschung durch die Bewegungen des ges wesentlich unterstützt wird.

Wir beginnen mit der **Beurtheilung der Entfernungsunterschiede**, eit dieselbe von der Vergleichung verschiedener Netzhautbilder abhängt,

wobei aber wohl zu verstehen ist, dafs hier die Differenzen der Bilder in beiden Sehfeldern als solche noch nicht zum Bewufstsein kommen, sondern nur die Unterschiede der Tiefendimension, die von jenen Unterschieden abhängen, aufgefafst und geschätzt werden.

Die Vergleichung der beiden Netzhautbilder, wie sie sich in der Wahrnehmung der Tiefendimension zu erkennen giebt, ist aufserordentlich genau und es werden darin zuweilen Unterschiede wahrgenommen, welche kaum in anderer Weise ohne künstliche Mefsinstrumente wahrgenommen werden können. Schon bei den gewöhnlichen stereoskopischen Photographien sind die Unterschiede beider Bilder meistens so klein, dafs eine aufserordentlich genaue Untersuchung dazu gehört dieselben zu entdecken, und gewöhnlich bemerkt man Unterschiede nur längs der Contourlinien vorderer Gegenstände welche die dahinter liegenden bald im rechten, bald im linken Bilde etwa mehr verdecken.

Dove[1] hat schon folgende Beispiele von der Genauigkeit des stereoskopischen Sehens gegeben:

643 Wenn man zwei Medaillen, die mit demselben Stempel geschlagen sind aber aus verschiedenen Metallen, stereoskopisch combinirt, so sieht das Gesammtbild schräg liegend und gewölbt aus, nicht eben. Der Grund davon beruht darin, dafs die Metalle durch den Druck des Stempels beim Prägen comprimirt werden und sich nachher ihrer verschiedenen Elasticität entsprechend wieder verschieden stark ausdehnen. Deshalb sind Medaillen aus verschiedenen Metallen geprägt nicht genau gleich grofs, aber ihre Gröfsenunterschiede sind aufserordentlich klein. Ich selbst habe bei Professor Dove solche Medaillen gesehen, eine aus Silber, eine aus Bronze bestehend, deren Gröfsenunterschied mit blofsem Auge gar nicht zu entdecken war, selbst wenn man sie aufeinander legte, und die doch ein deutlich gewölbtes Bild gaben.

Wenn in einer Buchdruckerpresse derselbe Satz von Buchstaben zwei Mal gesetzt wird, so ist es, wenigstens ohne ungewöhnliche Vorsichtsmaafsregeln, nicht möglich, die Abstände der Buchstaben genau gleich zu machen. In Folge dessen erscheinen im Stereoskop bei der Combination zweier solcher Drucke einzelne Worte und Buchstaben vor oder hinter den andern liegend. Ganz eben erscheint ein solcher Druck nur, wenn beide Exemplare mit demselben Buchstabensatze gedruckt sind; und auch dann kann das Ganze noch gewölbt und schräg liegend erscheinen, wenn durch verschiedene Befeuchtung oder Zerrung das Papierblatt im Ganzen sich gedehnt hat; doch erscheinen dann keine unregelmäfsigen Erhöhungen einzelner Buchstaben.

Wie man auf diese Weise die zweite Auflage eines Drucks von der ersten unterscheiden kann, so kann man auch nachgemachte Geldpapiere von ächten unterscheiden, weil es nicht möglich ist, in der Copie den Abstand

---

[1] W. H. Dove, *Optische Studien.* Berlin 1859. S. 26—36.

der Buchstaben so genau gleich denen des Originals zu machen, dafs nicht Erhebungen und Vertiefungen einzelner unter ihnen zum Vorschein kämen, wenn man ein ächtes und ein unächtes Papier im Stereoskope combinirt. Auch an zwei ächten Exemplaren desselben Werthpapiers zeigen sich übrigens solche Theile, welche mit verschiedenen Druckplatten gedruckt sind, gewöhnlich in verschiedener Ebene, und man kann mittels des Stereoskops leicht ermitteln, wieviel Platten zum Drucke des Papiers angewendet sind. Sehr bequem ist dieselbe Methode auch, um an Maafsstäben zu controlliren, ob die Theilstriche alle gleich grofs sind. Man braucht nur zwei verschiedene Theile desselben Maafsstabs stereoskopisch zum Decken zu bringen. Sind die Theile gleich grofs, so erscheinen alle Theilstriche in einer Ebene zu liegen. Sind die Theile unregelmäfsig, so treten einige Striche vor, andere zurück.

Ein anderes Beispiel solcher kleinen Verschiebungen, welche durch stereoskopische Combinationen leicht sichtbar werden, und welches mir gelegentlich auffiel, ist folgendes. Wenn man mit einem Auge frei, mit dem anderen aber durch den warmen Luftstrom über dem Schornstein einer brennenden Lampe nach der Tapete des Zimmers blickt, so sieht man bei einiger Aufmerksamkeit eine grofse einspringende und eine ausspringende Falte in der Tapete, als hätte sich diese von der Mauer losgelöst. Sieht das rechte Auge durch den warmen Luftstrom, so erscheint rechts die vorspringende, links die zurückspringende Falte; umgekehrt dem linken Auge. Am deutlichsten wird das Phänomen, wenn sich der Beobachter etwa drei 644
Fufs von der Wand aufstellt, und die Lampe in die Mitte dieser Entfernung. Dann fallen die beiden ausspringenden Falten für beide Augen an denselben Ort zusammen und die Wirkung verstärkt sich somit. Die Erscheinung erklärt sich durch die Brechung des Lichts in dem warmen Luftstrom. Sei dessen Querschnitt durch den Kreis *A* in *Fig. 232* angedeutet, r und ϱ seien die beiden Augen des Beobachters, a, b, c Punkte der Wand, so erscheinen diese dem Auge r in Richtung der drei geradlinigen Richtungsstrahlen ra, rb und rc. In das Auge ϱ gelangen die Strahlen aber auf den Wegen $a a_1 \varrho$, $b \varrho$ und $c c_1 \varrho$, wegen der Brechung in dem warmen Luftstrome *A*. Nur der durch dessen Mitte gehende Strahl $b \varrho$ kann geradlinig bleiben. Dem Auge ϱ erscheinen die Punkte c und a also in Richtung der Verlängerung der Strahlen ϱc_1 und ϱa_1, beiden Augen zusammen also in γ und α, wo sich beziehlich ϱc_1 mit rc und ϱa_1 mit ra schneidet. So erscheint also die Tapete hervorgetrieben auf der Seite des Auges, welches durch den warmen Luftstrom sieht, auf der andern Seite zurücktretend.

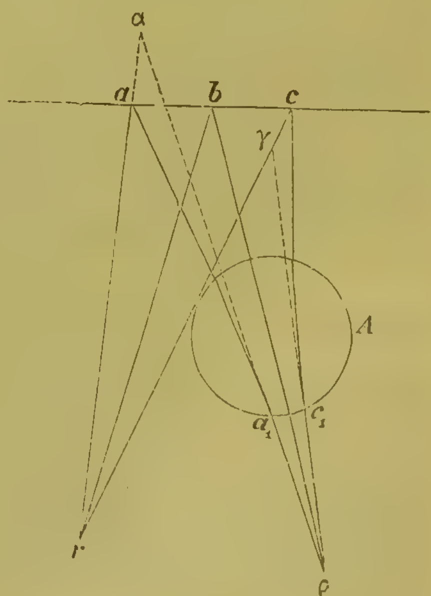


Fig. 232.

Ich habe noch einige Versuche angestellt über den Grad von Genauig- keit, der in der stereoskopischen Vergleichung der beiden Netzhautbilder erreicht werden kann. Zu dem Ende habe ich drei gleiche Nadeln senkrecht befestigt an dem Ende dreier vierkantiger kleiner Holzbalken, diese neben einander auf einen ebenen Tisch gelegt, so dafs sich die drei Nadeln neben einander in Abständen von je 12 Millimetern und nahehin in derselben Ebene befanden. Ich stellte mich dann so auf, dafs meine Augen sich in oder etwas unter der verlängerten oberen Ebene der drei Bälkchen befanden und ich also die drei Nadeln sah, ohne die Begrenzungslinie desjenigen Endes der Holzbalken sehen zu können, an welchem die Nadeln befestig waren. Die Entfernung meiner Augen von den Nadeln betrug 340 Millimeter Unter diesen Umständen konnte ich nur mittels der Vergleichung der beiden Netzhautbilder erkennen, ob die Nadeln genau in einer verticalen Ebene sich befanden oder nicht. Waren sie es nicht, so konnten sie durch Ver- schiebung eines der Hölzer, in denen sie befestigt waren, in eine Ebene gebracht werden, so gut es der Beobachter eben erkennen konnte, und wenn man nachher das eine Auge in Richtung dieser Ebene brachte und nach den Nadeln hinblickte, konnte man leicht erkennen, in wie weit die Einstellung der Nadeln gelungen war. Es ist dabei zu bemerken, daſ man die Abstände der Nadeln von einander nicht zu grofs machen dar weil sich dann eine eigenthümliche Täuschung des Urtheils einmischt, di im folgenden Abschnitt bei der Lehre vom Horopter besprochen werde soll. Für den Zweck sind die oben angegebenen Distanzen passend un machen jene Täuschung ohne Einflufs. Ich habe mich unter diesen Um-
645 ständen nie, auch nur um eine halbe Dicke der Nadeln, d. h. um $^1/_4$ Milli- meter geirrt, wenn die Ebene der Nadeln senkrecht zur Gesichtslinie wa War dieselbe stark gegen die Gesichtslinie geneigt, so war die Vergleichun nicht ganz so sicher. Wenn eine Nadel um ihre eigene Dicke, also um $^1/_2$ Millimeter, vor oder hinter die Ebene der andern getreten war, wa dies mit vollkommener Sicherheit zu erkennen. Man kann unter diesen Umständen leicht berechnen, um wieviel das Bild der mittleren Nadel ver- glichen mit den Bildern der beiden äufseren in dem einen Auge anders lag, al in dem andern, wenn dieselbe $^1/_2$ Millimeter vor der Ebene der beide anderen sich befand. Die Distanz meiner Augen beträgt 68 Millimeter Auf die Ebene der beiden andern Nadeln projicirt, würde die Lage de mittleren Nadel in den beiden Netzhautbildern $\frac{1}{2} \cdot \frac{68}{340} = \frac{1}{10}$ Millimeter verschieden gewesen sein. Eine Breite von $\frac{1}{10}$ Millimeter auf 340 Mi Distanz liegt schon an der Grenze der kleinsten sichtbaren Abstände. Si entspricht einem Winkel von $60^1/_2$ Winkelsecunden, oder 0,0044 Millimete Distanz auf der Netzhaut. Daraus folgt also, dafs die Vergleichun der Netzhautbilder beider Augen zum Zweck des stereo- skopischen Sehens mit derselben Genauigkeit geschieht, mi

welcher die kleinsten Abstände von einem und demselben Auge gesehen werden.

Sehr kleine Unterschiede, herrührend von der verschiedenen Brechbarkeit verschiedenfarbiger Lichtstrahlen, kommen auch zur Wirkung nach einer Bemerkung von Brewster, wenn man durch eine Convexlinse von zwei bis drei Zoll Breite nach einem rothen und einem blauen Objecte hinsieht, die in gleicher Entfernung vom Beobachter sich befinden. Dann erscheint das rothe näher als das blaue.

Die stereoskopische Unterscheidbarkeit der Tiefendistanzen nimmt für entferntere Gegenstände schnell ab. Das mathematische Gesetz dafür hat eine ähnliche Form, wie das für die Bilder von Convexlinsen. Es sei r die Distanz des entfernteren Punktes vom Auge, ϱ die des näheren, und f eine Constante, von der die Genauigkeit abhängt, so ist die Tiefendistanz der Punkte unterscheidbar, wenn

$$\frac{1}{\varrho} - \frac{1}{r} > \frac{1}{f}.$$

Nach den eben angeführten Messungen können wir den Werth von f gleich oder gröfser als 240 Meter setzen. Setzen wir statt r den Abstand des Objects, statt ϱ den Abstand des Bildes von einer convexen Linse, deren negative Brennweite gleich f ist, so wird

$$\frac{1}{\varrho} - \frac{1}{r} = \frac{1}{f}.$$

Wenn man also irgend einen Gegenstand durch eine äufserst schwache Concavlinse von 240 Meter negativer Brennweite ansehen würde, so würde das Bild des Gegenstandes an der Stelle des entferntesten Objects liegen, welches stereoskopisch noch, als vor jenem ersten liegend, erkannt werden könnte. Wer daran gewöhnt ist, die Lage der Linsenbilder zu übersehen, 646
wird hierdurch gleich erkennen, dafs in der Entfernung nur sehr grofse Tiefendimensionen, in der Nähe dagegen sehr kleine erkannt werden können.

Die Gröfse f in dieser Formel bezeichnet die weiteste Distanz, in welcher ein Object stereoskopisch noch von unendlich weit dahinter gelegenen Gegenständen unterschieden werden kann.

Ueber die Energie, mit welcher die stereoskopische Vergleichung der Netzhautbilder die Vorstellung verschiedener Entfernung giebt, im Vergleich mit den übrigen Hilfsmitteln des Sehens, ist namentlich eine Abänderung des Stereoskops, das Pseudoskop, lehrreich. Dieses Instrument ist dazu bestimmt, die binocularen Bilder wirklicher Gegenstände so zu verändern, dafs man falsche stereoskopische Reliefs davon erhält. Das Pseudoskop von Wheatstone enthält zwei rechtwinkelige Glasprismen, deren Kanten rechtwinkelig zur Visirebene gestellt sind, und durch welche der Beobachter

in einer ihrer Hypotenusenfläche parallelen Richtung hindurchblickt. Es ist oben auf Seite 634 und in *Fig. 205* schon der Gang der Strahlen in einem solchen Prisma angegeben worden. Man sieht durch ein solches Prisma Objecte, die in Richtung des ihrer Hypotenusenfläche parallelen unabgelenkten Strahls liegen, an ihrem richtigen Orte, die rechts daneben befindlichen dagegen durch die Spiegelung nach links, die links befindlichen nach rechts verlegt. Da jedes Auge die Objecte in dieser Weise durch die Spiegelung symmetrisch umgelagert erblickt, so sind die Bilder beider Augen wieder mit einander in Uebereinstimmung. Die beiden Prismen werden übrigens in kurze Röhren eingesetzt, so dafs ihre Hypotenusenfläche der Axe der Röhre parallel ist. Die Röhren müssen um ihre eigene Axe und um eine zur Visirebene senkrechte Axe drehbar sein, damit man die beiden Bilder in übereinstimmende Stellung bringen kann.

Dafs dabei auch das stereoskopische Relief verkehrt werden mufs, läfst sich leicht an einem einfachen Beispiele erkennen. Man denke sich als Object symmetrisch zu der Mittelebene des Kopfes gelegen einen viereckigen Balken. Beide Augen werden von diesem die vordere Fläche sehen, das rechte auch noch etwas von der rechten Seitenfläche, das linke etwas von der linken. Wenn man nun aber durch das Pseudoskop sieht, erscheint dem rechten Auge das, was es von der rechten Seitenfläche sieht, links neben der vorderen Fläche zu liegen. Das linke Auge sieht umgekehrt etwas von einer Seitenfläche rechts von dieser. Das kann nun an einem Balken nicht vorkommen, wohl aber an einer hohlen Rinne von viereckigem Querschnitt, welche an der dem Beobachter zugekehrten Seite geöffnet ist. In einer solchen würde das rechte Auge in der That ein verkürztes Bild der linken Seitenfläche sehen, das linke Auge eines der rechten. Dem entsprechend erscheint nun auch der Balken durch das Pseudoskop in der That als eine hohle Rinne. Ebenso erscheinen überhaupt convexe Körpe[r] als concav, nähere Gegenstände entfernter und so fort.

Die pseudoskopische Täuschung gelingt übrigens doch nur an eine[r] kleinen Zahl von Gegenständen, weil ihr theils die Kenntnifs der gewöhn[-] lichen Formen, theils die Schlagschatten hindernd in den Weg treten. Ic[h] habe schon früher hervorgehoben, dafs die Schlagschatten immer unzwe[i-]
647 deutige Auskunft über gewisse geometrische Verhältnisse geben. De[r] schattengebende Körper mufs immer vor der beschatteten Fläche liege[n]. Wenn nun auf einer ebenen Fläche irgend ein hervorspringender Körpe[r] liegt, so wirft er seinen Schatten auf die Unterlage. Im Pseudoskop soll er nun eigentlich hinter der Fläche liegend erscheinen, als wäre er in die[se] eingegraben. Dann hat aber der Schlagschatten keinen Sinn und stört d[ie] Möglichkeit der Täuschung. Ebenso hinderlich ist es, wenn eine vorliegend[e] Fläche eine hinterliegende theilweise verdeckt. Dann sieht das rechte Au[ge] an der rechten Seite der vorliegenden Fläche etwas mehr von der hinte[r-] liegenden als das linke, und das hat ebenfalls bei der pseudoskopisch[en] Umkehrung keinen Sinn.

Die Körper, welche man pseudoskopisch sehen will, mufs man deshalb ım Allgemeinen frei im Raume aufstellen, vor einer entfernteren gleichmäfsig gefärbten Wand als Hintergrund, auf die sie keinen deutlichen Schlagschatten mehr werfen können, und die keine auffallenden Merkzeichen hat, die sich selbst als Gesichtsobject darböten. Ferner mufs man vermeiden, dafs ein Theil des Objects perspectivisch einen andern Theil theilweise deckt. Passende Objecte sind zum Beispiel Cylinder von beschriebenem oder gedrucktem Papier, von Holz etc., welche wie hohle Rinnen aussehen, Cigarren, welche wie ein hohles Tabaksblatt aussehen, Medaillen, von vorn beleuchtet, welche wie Siegel vertieft erscheinen. Sehr lebhaft finde ich die Täuschung bei der pseudoskopischen Betrachtung eines hohlen Glascylinders, der eine eingeätzte Theilung zur Abmessung von Flüssigkeiten trägt. Ist die Theilung dem Beschauer zugekehrt, so erscheint sie durch das Pseudoskop an der abgewendeten Seite des Cylinders. Auch verticale Drähte oder Fäden, die sich in verschiedener Entfernung vom Beobachter befinden, geben ein sehr geeignetes Object. Die näheren erscheinen durch das Pseudoskop entfernter, die entfernteren nahe.

Wo die Bekanntschaft mit der wirklichen Form der Objecte oder der Schlagschatten hindernd entgegentritt, gelingt es oft noch durch eine lebhafte Vorstellung der pseudoskopischen Form, wie sie erscheinen sollte, die Vorstellung derselben hervorzurufen; und wenn sie sich einmal gebildet hat, bleibt sie auch ohne Mühe bestehen. Andererseits kann man auch wohl wieder die Anschauung der wirklichen Form zurückrufen, doch fühlt man sich bei dieser durch die dazu nicht stimmenden Differenzen der beiden Netzhautbilder immer einigermaafsen beunruhigt und gestört.

Während das Pseudoskop das Relief der gesehenen Gegenstände umkehrt, wird es von dem Telestereoskop stärker hervorgehoben, als es in der natürlichen Anschauung geschieht, und das letztere Instrument ist deshalb besonders brauchbar, um an sehr entfernten Gegenständen, die im natürlichen Sehen keine oder nur eine sehr undeutliche stereoskopische Anschauung geben, das Relief deutlicher hervorzuheben. Für die Betrachtung sehr weit entfernter Gegenstände sind die menschlichen Augen nicht weit genug von einander entfernt, um zwei merklich verschiedene Bilder derselben zu geben, man mufs also die Distanz der Gesichtspunkte künstlich vergröfsern, um zwei hinreichend verschiedene Bilder zu erhalten. Dies geschieht im Telestereoskop mit Hilfe von vier Planspiegeln, welche in 648
Fig. 233 bei a, b, α und β im Durchschnitt dargestellt sind. Die beiden Augen des Beobachters befinden sich bei r und ϱ. Die Linien $cbar$ und $\beta\alpha\varrho$ bezeichnen den Gang der Lichtstrahlen. Die vier Spiegel sind in einem Kasten, dessen Wände im Durchschnitt dargestellt sind, so befestigt, dafs sie kleine Drehungen erlauben, um die Bilder zur Coincidenz zu bringen. Es genügt, wenn die Spiegel a und α rechtwinkelig zu einander und zur Basis des Kastens befestigt sind, dafs der Spiegel β mittels einer Stellschraube um eine horizontale, und der Spiegel b durch eine andere Schraube

um eine verticale Axe gedreht werden kann. Um ein grofses Gesichtsfel zu haben, mufs man die äufseren Spiegel möglichst grofs machen.

Wenn r_1 den Ort des Spiegelbildes bezeichnet, welches das System der beiden Spiegel a und b vom Auge r entwirft, und ebenso ϱ_1 das Spiegelbild von ϱ, entworfen durch die Spiegel α und β, so sieht das Auge mittels der beiden Spiegel die vorliegende Landschaft so, wie sie einem i r_1 befindlichen Auge ohne die Spiegel erscheinen würde; und das Auge sieht die Landschaft, wie sie von ϱ_1 aus erscheint. Da nun die Punkte r und ϱ_1 viel weiter auseinanderliegen als die wirklichen Augen r und ϱ, s sind auch die Differenzen der beiden Bilder der Landschaft, wie sie von r und ϱ_1 aus gesehen erscheinen würde, viel gröfser, als die natürliche

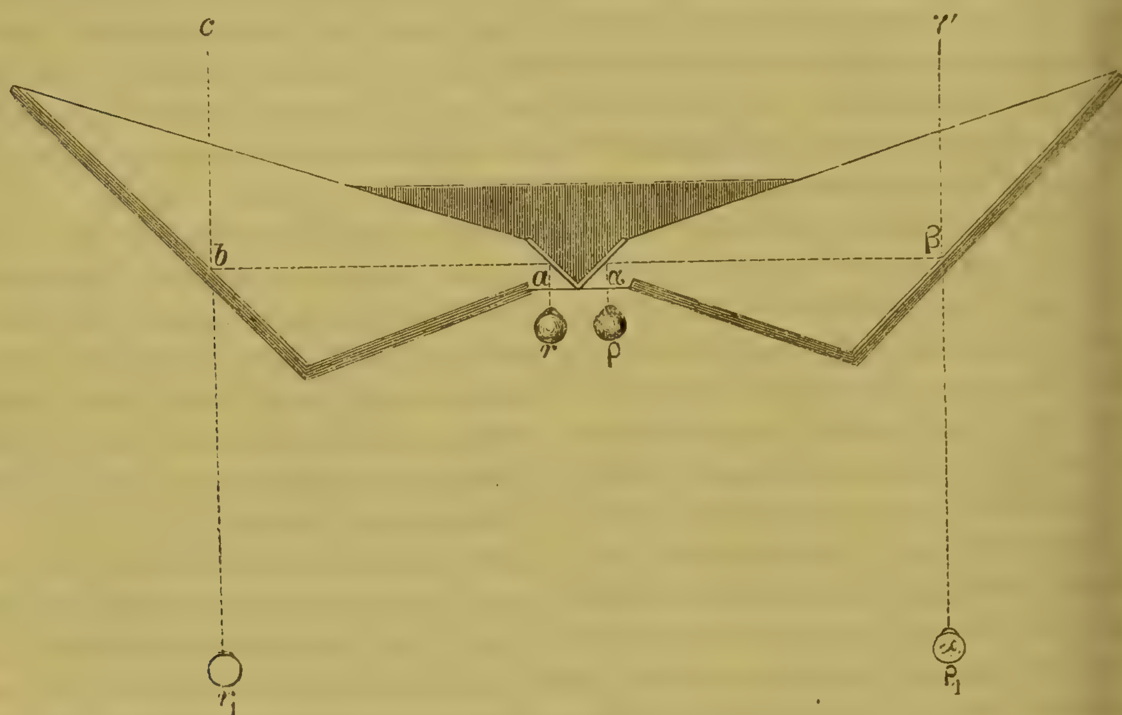


Fig. 233.

Differenzen in beiden Augen, und demgemäfs erscheint nun auch d stereoskopische Relief der entfernten Objecte, namentlich entfernter Bergzü und Terrainformen, viel deutlicher als dem blofsen Auge. Wenn die Spie so gestellt sind, dafs unendlich entfernte Objecte durch das Telestereosk mit parallelen Gesichtslinien gesehen werden, so erhält die Landsch dadurch das Ansehen, als wenn der Beobachter nicht die natürliche Lan schaft, sondern ein sehr zierliches und genaues Modell derselben vor s hätte, welches im Verhältnifs der Distanzen $r_1\varrho_1 : r\varrho$ *(Fig. 233)* verkleinert i

649 Etwas ähnliches wie das Telestereoskop leisten auch die meisten stere skopischen Photographien von Landschaften, weil in der Regel der Absta der beiden Gesichtspunkte auch bei der photographischen Aufnahme v gröfser gewählt wird, als die natürliche Distanz der Augen. Andererse können mittels der Photographie stereoskopische Bilder selbst von Himm

örpern, namentlich schön vom Monde, erhalten werden, wenn man zwei u verschiedenen Zeiten aufgenommene Bilder combinirt, wobei die etreffenden Gestirne der Erde etwas verschiedene Seiten zugewendet haben. bgleich der Mond der Erde im Ganzen fortdauernd dieselbe Seite zukehrt, o kommen doch kleine Schwankungen in seiner Stellung vor, welche es öglich machen von ihm stereoskopische Bilder zu erhalten, wenn man ihn n zwei verschiedenen Monaten photographirt, in solchen Augenblicken, wo ie Beleuchtung desselben durch die Sonne genau dieselbe war. Solche hotographien geben nicht blos die Kugelgestalt unseres Trabanten deutlich ieder, sondern auch einzelnes von dem Relief seiner Ringgebirge.

Die Beurtheilung der **absoluten Entfernung** eines zweiäugig gesehenen bjects würde, wenn alle andern Mittel der Schätzung fehlen, vollzogen erden können mittels des Gefühls für den Grad der Convergenz, in die nsere auf das Object gerichteten Blicklinien sich stellen. Doch ist dieses efühl ziemlich unsicher und ungenau, und wir sind in dieser Beziehung nter Umständen ziemlich bedeutenden Täuschungen ausgesetzt.

Um zunächst zu erweisen, dafs wir in der That die absolute Entfernung er gesehenen Objecte und demgemäfs auch ihre Gröfse nach der Convergenz er Blicklinien beurtheilen, so lange nicht andere hindernde Umstände azwischentreten, dient der von Wheatstone angegebene Versuch. Dieser atte sich sein Spiegelstereoskop so einrichten lassen, dafs erstens die beiden ilder den Spiegeln genähert und von ihnen entfernt werden konnten. Die arallelen Wände, an welchen die Bilder aufgestellt sind, sind auf Schlitten erschiebbar, die beiden Arme des Stereoskops aber drehbar um eine feste xe, welche zwischen den Spiegeln liegt. Je näher die beiden Bilder den piegeln gebracht werden, desto gröfser werden die beiden Retinabilder ohne eränderung der Convergenz. Dabei nimmt die scheinbare Gröfse des esehenen Objects zu, ohne Veränderung seiner scheinbaren Entfernung. äfst man dagegen die Bilder an den Armen des Instruments unverrückt, eht aber die Spiegel um ihre mittlere Axe, so ändert sich die Convergenz, ährend die Gröfse des Netzhautbildes unverändert bleibt. Dabei vermindern ch scheinbare Gröfse und Entfernung des gesehenen Objects, wenn die onvergenz zunimmt.

Aehnliche Verkleinerung und Vergröfserung der Objecte läfst sich auch jedem Paar stereoskopischer Zeichnungen beobachten, die man entweder t blofsen Augen oder mit dem Linsenstereoskope vereinigt, wenn man die ichnungen einander nähert oder von einander entfernt. Einen Apparat, die nöthigen Messungen hierbei anstellen zu können, hat H. Meyer[1] gegeben.

Wundt hat directe Versuche angestellt über die Schätzung der Entfnung nach dem Grade der Convergenz. Er blickte dabei nach einem 650 warzen verticalen Faden, der vor einem entfernteren gleichmäfsig weifsen

[1] H. Meyer, *Poggendorff's Annalen.* LXXXV, S. 198—207.

Grunde sich abzeichnete, und zwar blickte er durch einen horizontale gegen den Faden hin etwas röhrenförmig verlängerten Schlitz mit beide Augen, so dafs er nur den mittleren Theil des Fadens, nicht seine Ende sah, und auch von den seitlich gelegenen Gegenständen nichts, was ihm al Maafsstab der Entfernung hätte dienen können. Der Faden war an eine horizontal in der Medianebene des Beobachters ausgespannten Drahte auf gehängt und verschiebbar. Zunächst suchte er die absolute Entfernung z beurtheilen, und zu vergleichen mit der Länge eines in der Hand gehaltene Maafsstabes. Die Resultate waren folgende:

Wirkliche Entfernung	Geschätzte Entfernung.
180 cm	120 cm
160 „	92 „
140 „	78 „
120 „	58 „
100 „	48 „
90 „	47 „
80 „	47 „
70 „	37 „
50 „	22 „
40 „	25 „

In allen diesen Fällen ist die geschätzte Entfernung kleiner gewese als die wirkliche. Ich habe eine ähnliche Versuchsreihe nach etwas a geändertem Plane und mit dem entgegengesetzten Erfolge gemacht. Dic vor das Gesicht in die Medianebene hielt ich ein Blatt steifen Papiers u blickte nach einem vertical herabhängenden Faden. Das Papier verdeck dem rechten Auge alles, was sich links in einigem Abstande neben de Faden befand, dem linken Auge, was sich rechts neben dem Faden befan Näherte ich nun von der rechten Seite her einen Bleistift dem Faden, sah ich diesen nur mit dem rechten Auge, nicht mit beiden. Ich versuch dann mit dem Bleistift den Faden zu treffen, indem ich ihn schnell vorscho Dann ging aber immer der Bleistift hinter dem Faden vorbei. Oeffnete i die vorher geschlossenen Augen, nachdem ich meine Stellung verände hatte, richtete sie auf den Faden und versuchte dann schnell ihn in d angegebenen Weise zu treffen, so war die Entfernung zwischen Bleistift u Faden gering. Wartete ich länger, indem ich fortdauernd den Faden fixir so wurde der Fehler immer gröfser, wohl wegen steigender Ermüdung d inneren Augenmuskeln.

Sehr viel genauer war die Perception der Entfernungsänderung, we bei Wundt's Versuchen der Faden genähert oder entfernt wurde. D kleinsten wahrnehmbaren Unterschiede waren hierbei:

651

Entfernung des Fadens vom Auge	Unterscheidungsgrenze für Annäherung	für Entfernung
180 cm	3,5 cm	5 cm
170 „	3 „	4 „
160 „	3 „	3 „
150 „	3 „	3 „
130 „	2 „	3 „
110 „	2 „	2 „
80 „	2 „	2 „
70 „	1,5 „	1,5 „
50 „	1 „	1 „

Bei 180 Centimeter Entfernung ist jedes Auge um $1^0\ 1'$ nach innen gewendet, und eine Annäherung des Fadens um 3,5 Centimeter entspricht einer Verschiebung jedes einzelnen Netzhautbildes um 72 Winkelsecunden. Diese Gröfse ist schon an der Grenze des durch das Auge Unterscheidbaren. Bei den geringeren Abständen des Fadens werden dagegen erst gröfsere Winkelverschiebungen bemerkt; bei 50 Centimeter Abstand eine solche von 263 Secunden.

Uebrigens bleibt es bei diesen Versuchen wohl noch zweifelhaft, ob die beiden Augen dem Faden gefolgt und das Netzhautbild auf der Netzhaut ruhend geblieben ist, oder ob die Augen festgehalten wurden und die Verschiebung des Netzhautbildes bemerkt wurde. Die geringere Genauigkeit bei den stärkeren Convergenzen würde dann daraus zu erklären sein, dafs bei vorhandener Convergenzanstrengung die Lage des Augapfels schwerer festzuhalten ist, als bei unangestrengter Parallelstellung.

Die Unvollkommenheit in der Beurtheilung der Entfernung des Fixationspunktes zeigt sich auch, wenn wir bei geschlossenen Augen einen Bleistift in einiger Entfernung vor unserem Gesicht halten und die Augen hinter den Augenlidern auf denselben hinzurichten suchen, so dafs wir ihn fixiren, wenn wir bei unveränderter Augenstellung die Augen öffnen. Meist sind sie dann zu wenig convergent gestellt, und man sieht den Bleistift doppelt, wenn man sie öffnet. Doch gelingt es viel besser sie richtig einzustellen, wie ich schon oben bemerkt habe, wenn man die Spitze des Bleistifts betastet und daran mit der Fingerspitze reibt. Man erhält dann eine deutlichere sinnliche Vorstellung von seinem Orte, und dann gelingt es mir gewöhnlich die geschlossenen Augen so darauf zu richten, dafs ich beim Oeffnen derselben keine Doppelbilder sehe.

Die Unsicherheit, mit der wir den absoluten Grad der Convergenz beurtheilen und danach die absolute Entfernung des fixirten Objects, macht sich in vielen Fällen merklich. Wenn man zum Beispiel ein Blatt Papier, auf dem stereoskopische Bilder gezeichnet sind, in der Hand hält und die Bilder combinirt, so erscheinen dieselben der Regel nach auf oder nahe vor der Fläche des Papiers, dessen Ort wir kennen, zu liegen, während doch die

parallel oder nahe parallel gestellten Blicklinien sich erst in sehr grofse Entfernung hinter dem Papiere schneiden sollten, und dort der scheinbar Ort des körperlich erscheinenden Objects sein sollte. Ebenso gelingt es i der Regel nicht, negative Nachbilder eines hellen Objects zu einer körper-
652 lichen Anschauung zu combiniren; sondern sie erscheinen auf die Oberfläch desjenigen reellen Objects, auf welches die Augen gerade gerichtet sind projicirt zu sein. Zuweilen indessen, wenn die Nachbilder recht scharf un deutlich sind, und wenn die vorliegende reelle Oberfläche keine hervor tretende Zeichnung hat, gelingt es auch wohl das Nachbild mit körperliche Dimensionen und selbständiger Lage im Raume zu erkennen.

Auch wenn man stereoskopische Zeichnungen im Stereoskop combinir wo man aufser ihnen keinen andern Gegenstand sieht, mit dem man di absolute Entfernung des erscheinenden Raumbildes vergleichen könnte, is man ziemlich unsicher über die absolute Entfernung desselben; und wen man die Lage des scheinbar gesehenen Objects mit der Hand aufserhal des Kastens zu bezeichnen sucht, begeht man ähnliche Fehler, wie Wund sie bei der Schätzung der Entfernung des zweiäugig gesehenen Fadens fan Blickt man dann abwechselnd über dem Instrumente hinweg und durc dasselbe, so kann man leicht die Lage der Hand mit der des stereoskopische Raumbildes vergleichen und den Fehler schätzen, den man gemacht ha Auch hierbei finde ich, wie Wundt, dafs ich meist geneigt bin, das Raum bild für näher zu halten, als es ist. Sehr viel besser als mit der nach de Gefühl bestimmten Lage der nicht gesehenen Hand pflegt dagegen die Ve gleichung mit einäugig rechts und links vom Stereoskop gesehenen Objecte zu gelingen. Die Kästen der Brewsterschen Stereoskope sind meister nicht so breit, dafs man nicht mit dem rechten Auge einige von den rech liegenden reellen Objecten, mit dem linken links liegende sehen könnt deren Entfernung und Gröfse bekannt ist. Trotzdem man diese nur einäug sieht, und trotzdem die Entfernung des stereoskopischen Raumbildes nu durch das zweiäugige Sehen bestimmt wird, macht man meist ziemlich genau Bestimmungen, die nicht viel geändert werden, wenn man nachher d Raumbild mit zweiäugig über oder unter dem Stereoskop gesehenen reell Objecten vergleicht.

Dieses letztere Verfahren zeigt, dafs die Beurtheilung der Entfernu nach der Convergenz der Gesichtslinien unter günstigen Umständen und wen sie durch keinerlei beirrende Einflüsse gestört wird, ziemlich gute Resulta giebt. Aber es ist eines derjenigen Momente der Beurtheilung, welch leicht überwogen wird durch andere, die ihm widersprechen, wie in de vorher citirten Beispiele der Bilder, die sich auf eine Fläche von bekannt Entfernung projiciren.

Auch die sogenannten Tapetenbilder[1] zeigen unzweideutig d Einflufs der Convergenz. Wenn man nämlich nach einer Tapete, der

[1] H. Meyer in Roser und Wunderlich's *Archiv*. 1842. Bd. I. — D. Brewster in *Philos. Mag.* XXX, 305.

luster sich gleichmäfsig wiederholt, mit convergenten Blicklinien hinsieht, o gelingt es bei gewissen Graden der Convergenz entsprechende Theile des lusters zur Deckung zu bringen, entweder das erste mit dem benachbarten weiten, oder auch das erste mit dem dritten oder vierten. Man sieht sdann ein verkleinertes Bild der Tapete, welches, dem Beobachter näher, heinbar in der Luft schwebt, desto näher und kleiner, je gröfser die onvergenz ist. Wenn hierbei jeder Theil des Musters sich mit nächst- 653
enachbarten gleichen deckt, ist das Bild nicht so klein und nah, als wenn · sich mit dem dritten oder vierten gleichen deckt.

Die Vorstellung von der Entfernung des so gesehenen Tapeten-Musters *n*
it etwas Unbestimmtes; sie ist nicht sehr deutlich und wird geändert, sowie och andere Gegenstände auf der Tapete vorhanden sind — Bilder, Nägel u. s. w. -, welche die regelmäfsige Periodicität des Musters stören.

Wenn man sich nun ein solches Tapetenbild entwirft und dann den opf etwas von rechts nach links, oder von oben nach unten oder von vorn ch hinten verschiebt, so tritt eine scheinbare Bewegung des Tapetenbildes n. Hingegen macht das reelle Object, welches man mit richtig gestellten ugenaxen binocular anschaut, keine derartige Bewegung; bei diesem sind r darauf eingerichtet, wir erwarten die Winkelverschiebung, welche dasselbe leidet, wenn wir unsern Kopf willkürlich verschieben. Solange hierbei die heinbaren Bewegungen des reellen Objectes die uns gewohnten Grenzen d Verbindungen einhalten, beurtheilen wir das Object als ruhend. Bei n Tapetenbildern wird die Combination gelöst. Also selbst eine ruhende onvergenz, welche auf eine bestimmte Entfernung eingerichtet ist, wird erbei deutlich und fein unterschieden von dem andern Grade der Convergenz, r der wirklichen Lage des Objectes entsprechen würde. Ich habe hierbei funden, dafs in diesem Falle in der That die vorhandene Convergenz mit cht grofser Genauigkeit den Erfolg bestimmt, und dafs mit recht grofser cherheit die nicht objective Natur des Tapetenbildes sich verräth, indem le Bewegung des Kopfes eine scheinbare Winkelbewegung des Bildes her- rruft. Bei Convergenz der Blicklinien auf einen Punkt, der hinter der ene der Tapete liegt, bewegen sich die Tapetenbilder stets nach entgegen- setzter Richtung als der Kopf; bei Convergenz auf einen Punkt vor der ene der Tapete bewegen sie sich in derselben Richtung wie der Kopf.

Diese leicht zu machenden Beobachtungen scheinen mir von einiger ichtigkeit zu sein, um die Schätzung derjenigen Momente zu geben, von nen die Beurtheilung der Entfernung gesehener Objecte abhängt.

Hierhin gehört auch der Fall, wo stereoskopische Bilder vereinigt werden, 653
ren correspondirende Punkte weiter von einander entfernt sind als die ttelpunkte der Augen, die also nur bei divergenter Richtung der Blick- ien vereinigt werden können. Beobachter, welche wenig in der Erzeugung vergenter Augenstellungen geübt sind, erreichen dies am besten, wenn sie ei zusammengehörige stereoskopische Zeichnungen auseinander schneiden, dann in ein gewöhnliches Stereoskop einlegen und sie nun langsam von

einander entfernen, während sie sie fortdauernd vereinigt zu sehen suche[n]. Oder man zeichnet, wie ROLLET[1] und BECKER thaten, unter einander a[uf] einem Papier eine Reihe von stereoskopischen Figuren, die einander einzel congruent sind, aber immer weiter auseinander rücken. Die genannte Beobachter haben eine Reihe von Figuren gegeben, deren jede einzel[n] einen gröſseren Kreis, vor dessen Fläche ein kleinerer liegt, stereoskopis[ch] darstellen. Die Mittelpunkte der kleinen Kreise des nächstfolgenden Paa[rs] sind immer so weit von einander entfernt, wie die der groſsen des vorau[s]gehenden Paars. Hat man also die letzteren vereinigt, so vereinigen si[ch] auch die kleinen Kreise des nächsten Paars von selbst; von denen gelan[gt] man zur Vereinigung der groſsen dieses selben Paars, von diesen z[ur] Vereinigung der kleinen eines dritten Paars und so fort. Die Mittelpunk[te] des ersten Paars kleiner Kreise sind 44 Millimeter distant, die der letzt[en] groſsen 93 Millimeter, und doch kann ich bei einer Augendistanz v[on] 68 Millimeter auch die letzteren in 30 Centimeter Abstand vereinigen.

In solchen Fällen können sich die Blicklinien nun in gar keinem Punk[te] des vor uns gelegenen Raums schneiden, sondern nur hinter unserem Kop[f], und dennoch glauben wir ebenso gut, wie bei richtiger Distanz der Bild[er] ein stereoskopisches Raumbild vor uns zu haben. Höchstens werden w[ir] durch das Gefühl ungewöhnlicher Anstrengung unserer Augen benachrichti[gt], daſs dieselben eine ungewöhnliche Stellung haben. Und wenn wir e[in] stereoskopisches Raumbild, welches mit divergenten Sehaxen betrachtet wi[rd], vergleichen mit reellen sehr entfernten Objecten, die über dem Stereosk[op] sichtbar sind, einer weit entfernten Bergkette zum Beispiel, so erscheint u[ns] jenes Raumbild nur eben noch sehr viel weiter entfernt, als die entferntest[en] reellen Objecte.

Auch wenn wir reelle ferne Objecte durch zwei Prismen ansehen, v[on] etwa vier Grad brechendem Winkel, deren brechende Kanten nach auſs[en] gekehrt sind, so müssen wir sie mit divergenten Gesichtslinien betracht[en], und sie erscheinen uns wohl etwas entfernter, als mit bloſsen Augen, [im] Ganzen aber doch nicht viel anders. Das unendlich Entfernte macht sich [in] unseren Gesichtsanschauungen eben nicht geltend als eine Grenze, die ni[cht] überschritten werden könnte. Abnehmende Convergenz der Gesichtslin[ien] ist für uns ein Zeichen wachsender Entfernung des Objects. Diesem Zeic[hen]
654 gemäſs urtheilen wir auch, wenn die Convergenz bis zu negativen Werth[en] abnimmt, obgleich dann kein vor uns liegender reeller Raumpunkt solc[her] Convergenz mehr entspricht. Selbst wenn wir durch das Gefühl mehr o[der] weniger sicher wahrnehmen sollten, daſs wir mit einer Augenstellung seh[en], die bei der normalen Betrachtung wirklicher Objecte nie vorgekommen [ist], so würden wir den Eindruck nach der Regel, der wir bei abnormen Sinn[es]eindrücken zu folgen pflegen, doch immer nur vergleichen können demjenig[en], welcher ihm am ähnlichsten ist und sich nur durch geringere Converg[enz]

---

[1] A. ROLLET, *Wiener Sitzungsberichte.* 10. Mai 1861. Bd. XLIII. — Combination bei diverge[nten] Gesichtslinien auch schon früher ausgeführt durch BURCKHARDT in *Verhandl. d. naturforsch. Ges. zu Basel.* I.

ıer Gesichtslinien davon unterscheidet, dem Eindruck weit entfernter reeller ›bjecte auf das Auge.

Wegen der Unvollkommenheit, mit der wir den Grad der Convergenz eurtheilen, können nun auch Täuschungen in der Beurtheilung der zwei-ıgig gesehenen Raumformen vorkommen, indem wir eine Interpretation der esichtserscheinungen machen, welche für eine andere Convergenz passend äre, aber nicht für die wirklich stattfindende richtig ist. Am auffallendsten t dies an solchen Gegenständen, deren Netzhautbilder bei verschiedenen raden der Convergenz gleich guten Sinn haben würden. Man befestige ım Beispiel an einem hoch über und vor unserem Auge gelegenen ›rizontalen Querbalken in einigen Zollen Entfernung von einander drei igel, hänge an diesen drei feine schwarze Seidenfäden mittels loser weiter hleifen auf und spanne sie durch kleine Gewichte. Zunächst richte man e Fäden so, dafs alle drei in einer Ebene hängen. Dann setze man sich rade vor die Fäden um Armeslänge von ihnen entfernt, so dafs der mittlere der Medianebene des Gesichtes liegt und die Ebene der Fäden senkrecht dieser Medianebene sei. Hinter den Fäden mufs sich in gröfserer ıtfernung ein gleichmäfsig gefärbter Grund ohne besonders markirte Punkte finden. Man betrachte die Fäden aufmerksam, ob sie wohl wirklich in ıer Ebene zu liegen scheinen; es zeigt sich dann, dafs der mittlere ıeinbar von der Ebene der beiden andern sich befindet, desto mehr je ıer man das Gesicht den Fäden bringt. Nun schiebe man den mittleren len etwas zurück, so dafs die Fäden in einer gegen den Beobachter ıcaven Cylinderfläche liegen, und setze sich wieder davor. Betrachtet n sie nun aus gröfserer Entfernung, so erscheinen sie in einer gegen den ›bachter concaven Fläche zu liegen; nähert man sich mehr, so wird diese ›n, endlich bei noch gröfserer Annäherung tritt der mittlere Faden, obgleich hinter der Ebene der beiden andern liegt, scheinbar vor die Ebene der den andern nach vorn heraus. Die Entfernung, aus der die Fäden als Ebene erscheinen, ist für verschiedene Beobachter sehr verschieden. r E. Hering, der diesen Versuch durch Anwendung von Fäden verbessert nachdem ich ihn schon zuvor mit Nadeln in der oben beschriebenen ise ausgeführt hatte, findet, dafs er sich um die ganze Länge des chmessers des durch die Fäden zu legenden geraden kreisförmigen nders entfernen müsse, um die Fäden in einer Ebene zu sehen, und gt dies mit seiner Horoptertheorie in Zusammenhang, wovon weiter unten r. Ich selbst sehe aus einer solchen Entfernung die Fläche der Fäden noch lich concav gegen mich hin, ebenso die Hrn. Berthold, Bernstein und tich, die in meinem Heidelberger Laboratorium darüber Versuche anstellten. Hrn. Berthold und Dastich mufsten sich bis etwa zur Hälfte jenes 655
chmessers nähern, ich selbst noch mehr, nämlich auf etwa $^3/_{10}$, ehe ich Fäden in einer Ebene erblickte; am nächsten mufste Hr. Bernstein ngehen. Das Verhältnifs blieb für verschiedene Entfernungen der Fäden einander und für verschiedene Abstände des mittleren Fadens von der

Ebene der beiden andern ziemlich dasselbe, so dafs Herr Dr. Berthold d Fäden immer dann nahehin eben sah, wenn seine Nasenwurzel etwa in d Axe des Cylinders sich befand, der durch die Fäden zu legen ist, ich selb aber immer bis nahe, aber nicht ganz zur Mitte des Radius, oder bis a ein Viertel des Durchmessers herangehen mufste.

Dabei zeigte sich auch ein Einflufs der Ermüdung der Augen, inde nämlich beim ersten Uebergang aus paralleler Richtung zur Convergenz a die Fäden der Fehler in der Beurtheilung ihrer Lage kleiner ausfällt, u man näher heran zu gehen geneigt ist, um sie eben zu sehen. Bei läng andauernder Convergenz aber tritt dann der mittlere Faden etwas vor, u man mufs wieder weiter zurückgehen.

Hier sind einige Beobachtungsresultate, für mein Auge bei länge Betrachtung erhalten:

Abstand der beiden äufseren Fäden von einander	Abstand des mittleren von der Ebene der beiden andern	Durchmesser des Cylinders	Distanz, in der ich die Fäden in einer Ebene sah	Distanz in Theilen des Durchmessers
256 mm	10,5 mm	1571 mm	450 mm	0,286 mm
256 „	6 „	2737 „	730 „	0,267 „
117 „	4,2 „	819 „	237 „	0,289 „
117 „	8,1 „	429 „	129 „	0,301 „
120 „	2 „	1802 „	550 „	0,305 „

Die Täuschung bei diesen Versuchen erklärt sich aus der oben bemerk Thatsache, dafs, wenn wir nur nach der Convergenz der Gesichtslinien Entfernung beurtheilen, wir dieselbe gewöhnlich für kleiner halten, als wirklich ist, und sie überhaupt unsicher beurtheilen.

Wenn wir nun auf eine senkrechte durch senkrechte parallele Li eingetheilte Ebene blicken, so erscheinen die nach rechts hin gelege Streifen derselben dem rechten Auge unter gröfserem Gesichtswinkel dem linken, weil sie erstens jenem Auge näher sind, und weil zweitens s Gesichtslinie die genannten Streifen unter einem weniger spitzen Wi trifft, als die des linken Auges. Umgekehrt erscheinen die nach li gelegenen Streifen dem linken Auge breiter, als dem rechten. Je näher Augen der besagten Ebene kommen, desto gröfser werden die Differe der Gesichtswinkel für den gleichen Streifen. Um nun entscheiden können, ob die wahrgenommenen Differenzen dieser Art der Projection e ebenen Fläche oder einer gekrümmten angehören, müfste man die Entfer des Objects nach der Convergenz der Gesichtslinien sehr genau schä können. Denn die gleichen Differenzen der beiderseitigen Bilder w auch ein entfernteres Object zeigen können, wenn es gegen den Beobac convex wäre, oder ein näheres, wenn es gegen den Beobachter concav w Dafs wir nun das gesehene zweiäugige Bild bei den beschriebenen Versu
656 so interpretiren, als gehörte es einem entfernteren Objecte an, rührt, ich glaube, nicht oder wenigstens nicht allein davon her, dafs wir

ntfernung des Objects unter ähnlichen Umständen meist als zu grofs hätzen, wie die oben beschriebenen Versuche bei dem Zielen mit dem näugig gesehenen Bleistift auf den zweiäugig gesehenen Faden zeigen; enn in der That müfste der Irrthum über die Entfernung gröfser sein, als wirklich sich bei jenen Versuchen herausstellt, wenn er die gleiche enderung in der scheinbaren Form des Raumbildes geben sollte. So ürden wir in dem ersten Falle der auf Seite 802 gegebenen Beobachtungen e Entfernung auf 627 Millimeter statt auf 450, in dem dritten auf 350 att auf 237 schätzen müssen. So grofs habe ich die Irrthümer nie gefunden. h glaube vielmehr, dafs wir hier eine falsche Auslegung machen, weil ein derer Umstand wegfällt, der sonst unser Urtheil unterstützt. Wenn wir mlich nicht blos gleichmäfsig fortlaufende gerade Linien in ähnlicher Lage e die Fäden bei dem zuletzt beschriebenen Versuche vor Augen haben, ndern Linien, welche deutlich sichtbare Merkpunkte darbieten, oder Objecte, denen auch horizontale Grenzlinien vorkommen, so erscheinen uns die rticalen Längen, welche dem rechten Auge näher liegen, unter gröfserem sichtswinkel, als dem linken Auge und umgekehrt.

Dafs diese Unterschiede in den verticalen Dimensionen für beide Augen Betracht kommen, zeigt evident die Vergleichung der stereoskopischen guren auf *Taf. III A* und *B*. Das Figurenpaar *A* zeigt die beiden ojectionen einer nahe vor dem Gesicht befindlichen, schachbrettartig musterten Ebene und erscheint als Ebene. Das Paar *B* dagegen zeigt beiden Projectionen einer schachbrettartig gemusterten, weit entfernten d cylindrisch gekrümmten Fläche und erscheint als solche. Nun sind die ticalen Linien in dem einen Paar Zeichnungen genau so weit von einander fernt, wie die entsprechenden verticalen Linien in dem andern Paare Zeichnungen. Wenn also die scheinbare Krümmung nur von der gegenigen Lage der verticalen Linien abhinge, wie man bisher meist vorausetzt hat,[1] so müfsten beide Zeichnungen genau dieselbe Flächenkrümmung bieten. An und für sich entspricht die relative Lage der verticalen ien aber ebenso gut einem nahe liegenden ebenen, wie einem entfernteren vexen Schachbrett, und erst die Führung der queren Linien giebt für eine oder andere Deutung den Ausschlag. Umgekehrt sind in *Taf. III C* die horizontalen Distanzen der Verticallinien überall gleich grofs, begrenzenden Querlinien aber gekrümmt und am äufsern Rande der ren weiter von einander entfernt, als am innern, wie es in den Bildern r nahen concaven Fläche der Fall sein würde. Aus der Combination er Zeichnungen entsteht auch wirklich das binoculare Bild einer gegen Beobachter concaven Fläche, trotz paralleler Stellung der Blicklinien, einem nahen Objecte nicht entspricht. Wenn wir hier nur nach den rschieden in horizontaler Richtung urtheilen wollten, die ganz fehlen, üfste *C* als ein ebenes Schachbrett erscheinen. Die unpassende Convergenz

[1] Und wie es namentlich Herr E. HERING als Grundgesetz des binocularen Sehens ausgesprochen hat.

stört hier ebenso wenig, wie bei der Betrachtung der Doppelzeichnung *A Taf. II*
657 wo wir urtheilen, dafs wir eine nahe ebene Fläche vor uns haben, trotzde die dazu nöthige Convergenz fehlt. Die Aehnlichkeit der beiden Bilder mit denen einer nahen Ebene entscheidet unsere Deutung trotz des Gefüh unpassender Convergenz.

Wenn man nun die Bilder so wählt, dafs Verschiedenheiten in d verticalen Dimensionen für beide Augen gar nicht vorkommen können, al zum Beispiel wie in dem oben besprochenen Versuche drei verticale Fäde ganz gleichmäfsig fortlaufend und ohne Merkpunkte, betrachtet, so fällt e Theil derjenigen Zeichen fort, an denen wir sonst die Nähe der Bild erkennen. Die Differenzen, welche die horizontalen Abstände der Fäden den beiden Netzhautbildern zeigen, sind nicht begleitet von den sonst imm gleichzeitig vorkommenden entsprechenden verticalen Differenzen, od wenigstens sind letztere nicht wahrnehmbar, und da wir in der Beurtheilu der Nähe durch Convergenz nicht sehr sicher sind, so beurtheilen wir drei Fäden wie ein Object, welches etwas ferner ist, und an dem alsda die vorhandenen Differenzen der horizontalen Dimensionen nur vorkomm können, wenn es gegen den Beobachter convex ist.

Da bei verschiedenen Individuen die Sicherheit der Beurtheilung Entfernung durch Convergenz sehr verschieden ist, so erklärt es sich, d die Täuschung an den drei verticalen Fäden bei verschiedenen Individu sehr verschiedenes Maafs hat. Bei Herrn E. Hering ist die Täuschung meisten entwickelt; bei demselben scheint aber auch die Beurtheilu der Entfernung nach der Convergenz der Gesichtslinien besonders u vollkommen zu sein, da er sie nach seinen eigenen Beobachtungen ganz läugnen geneigt ist.

Zur Prüfung der gegebenen Erklärung habe ich auf die drei schwarz Fäden kleine Goldperlen aufgezogen und dieselben in Zwischenräumen etwa vier Centimeter von einander befestigt. Sie dienten als Merkpun an den Fäden, die auch im indirecten Sehen deutlich sichtbar waren. I oben beschriebene Täuschung war danach bis auf einen geringen R geschwunden, während ich bei drei ganz schwarzen Fäden, deren äufs 256 Millimeter von einander entfernt waren, und die aus 450 Millime Entfernung betrachtet wurden, den mittleren 10,5 Millimeter hatte zurü schieben müssen, um sie eben zu sehen, brauchte ich ihn nach Anbring der Perlen nur 2 Millimeter zurückzuschieben. Bei 120 Millimeter Abst der äufseren Fäden, wobei der mittlere 2 Millimeter zurückgeschoben w mufste ich früher 550 Millimeter abgehen, nach Anbringung der Perlen 230 Millimeter.

Auch wenn man den drei schwarzen Fäden irgend einen andern Geg stand nahe bringt, der hinreichend viele Merkpunkte darbietet, so erke man die Krümmung der Fläche, in der die Fäden hängen, selbst wenn genäherte Gegenstand an sich gar keine geraden Linien zur Vergleich darbietet. Ich benutzte dazu zum Beispiel einen *S*förmig gekrümmten a

geschnitzten Papierschneider, und selbst wenn ich seinen am stärksten gekrümmten Rand den Fäden zuwendete, liefs er die Täuschung über deren Stellung fast ganz schwinden.

Da es sehr schwierig ist, aufser durch Maschinen eine hinreichend genaue Uebereinstimmung der verticalen Linien in stereoskopischen Bildern hervorzubringen, habe ich Versuche über den Einflufs der Convergenz noch in folgender Weise angestellt. Ich habe zwei rechtwinkelige Prismen neben einander befestigt, so dafs ihre Querschnitte wie die rechtwinkeligen Dreiecke 658
in *Fig. 234* liegen, dafs ihre Kanten einander parallel und zwei ihrer Kathetenflächen unter einem kleinen Winkel α gegen einander geneigt sind. Trifft der Strahl af bei b nahehin senkrecht auf eine Kathetenfläche solcher Prismen, so wird der Strahl zwei Mal bei c und d reflectirt, wie die Figur anzeigt, und tritt schliefslich aus der letzten Fläche in der Richtung eg von seiner ersten Richtung

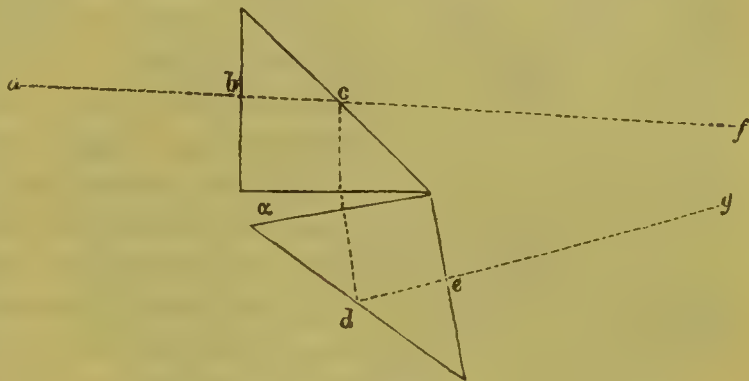


Fig. 234.

aus um einen Winkel abgelenkt, der das Doppelte des Winkels α beträgt.[1] Wenn man in der angegebenen Weise durch ein solches Doppelprisma bei senkrechter Stellung seiner Kanten blickt, so sieht man genau dasselbe Netzhautbild, wie mit blofsem Auge, aber um es zu sehen, mufs man das Auge etwas mehr nach rechts oder links wenden, als es ohne das Prisma nöthig wäre.

Blickt man durch ein solches Prisma nach drei parallelen verticalen Fäden, die in einer Ebene sich befinden und deren mittelster daher den unbewaffneten Augen ein wenig vor die Ebene der beiden anderen vorzutreten scheint, so mufs man die Augen, je nachdem man die Fläche b oder e des Prisma ihm zukehrt, mehr convergiren oder mehr divergiren lassen, als vorher, sieht aber genau dieselben Netzhautbilder. Im Falle die Divergenz vergröfsert wird, erscheint der mittlere Faden noch stärker vortretend als bisher; im Falle die Convergenz vermehrt wird, tritt er in die Ebene der andern scheinbar zurück, oder sogar hinter dieselbe. Da die Prismenzusammenstellung eine ganz geringe telestereoskopische Wirkung hat, so bringe man für Convergenz die Fläche e vor das rechte, für Divergenz b vor das rechte Auge; oder man bringe nach einander beide Flächen vor das

[1] Es ist hierbei keine Verzerrung des Bildes durch die Brechung an den Glasflächen zu fürchten, wie sie bei schiefwinkeligen Prismen vorkommt und bei stereoskopischen Versuchen sehr störend werden kann, weil die Veränderungen nur derselben Art sind, wie sie beim Sehen senkrecht durch eine dicke planparallele Glasplatte vorkommen; in der Mitte des Bildes verschwindend klein und nach den Seiten hin symmetrisch, so dafs sie bei den hier zu machenden Versuchen nicht stören können.

linke Auge; die telestereoskopische Wirkung des kleinen Apparats ist in d ersten beiden Fällen gleich, wo der Abstand der Gesichtspunkte durch d Prismen vergröfsert wird, und ebenso in den letzteren beiden Fällen, dieser Abstand verkleinert wird.

Aus diesem Versuche folgt, dafs dieselben Netzhautbilder die Vorstellu eines concaven, ebenen oder convexen Objects hervorbringen, je nachde die Convergenz der Augen gröfser oder kleiner ist, dafs also die Converge bei solchen Objecten wohl beachtet wird.

Andererseits betrachte man durch die Prismencombination eine ebe mit deutlich sichtbaren Figuren oder Buchstaben bedeckte Fläche, der Netzhautbilder daher nur bei einem bestimmten Convergenzgrade eine
659 wirklichen Objecte entsprechen können, so wird man dieselbe auch b vermehrter oder verminderter Convergenz eben sehen. In einem solch Falle können die Netzhautbilder nur einem bestimmten Objecte angehöre und die Anschauung dieses Objects entsteht auch bei unpassender Converge Aehnlich verhält es sich bei den Fäden mit Perlen; auch da ist die Wirku der vermehrten Convergenz und Divergenz sehr unbedeutend, und m beobachtet hauptsächlich nur die telestereoskopische Wirkung der scheinb vermehrten Distanz der Gesichtspunkte.

Ganz anders wirken die gewöhnlichen einfachen Prismen von schwache brechenden Winkel. Wenn man durch die Mitte eines solchen unter d Minimum der Ablenkung blickt, die brechende Kante der Nase zugekeh so erscheinen alle Objecte nach innen abgelenkt und erfordern erhöh Convergenz zu ihrer Betrachtung. Aber gleichzeitig erscheinen alle Vertic linien nasenwärts concav, die schläfenwärts gelegenen Theile des Bildes schmal, die nasenwärts gelegenen zu breit, Horizontallinien dagegen na der Nasenseite divergirend. Daraus folgt, dafs, wenn das rechte Auge du ein solches Prisma blickt, die Objecte zweiäugig gesehen, näher erschein und so, dafs sowohl ihre geraden Horizontallinien wie ihre geraden Vertic linien gegen den Beschauer concav erscheinen. Durch die scheinba Vergröfserung der verticalen Abstände an der inneren Seite werden Unterschiede der natürlichen Projection, wonach die jenseits der Medianebe gelegenen Theile des Objects scheinbar kleiner sind, zum Theil oder ga ausgeglichen. Das Object erscheint ungefähr in derselben Entfernung vorher, oder auch trotz der vermehrten Convergenz etwas gröfser und fern Unter diesen Umständen kann die Verbreiterung der nasenwärts gelegen und Verschmälerung der schläfenwärts gelegenen Theile des Bildes nur eine concave Wölbung desselben bezogen werden. Die Krümmung Verticallinien bedingt die scheinbare Concavität derselben.

Kehrt man die scharfe Kante des Prisma nach aufsen, so erschein ebene Objecte im Gegentheil convex gegen den Beobachter.

Mit den hier betrachteten Erscheinungen, wobei zweiäugige Bilder Objecten bei bald vermehrter, bald verminderter Convergenz der Aug betrachtet werden, hängt auch die Möglichkeit zusammen, Reliefbild

er Objecte zu construiren, welche bei geringerer Entfernung und bei eringeren Tiefendimensionen als das Original doch den Eindruck des etzteren nach seinen wirklichen Formen und Dimensionen, seiner wirklichen eschattung, und zwar nicht nur für monoculare, sondern selbst für inoculare Betrachtung nachahmen, indem sie annähernd auch dieselben nterschiede beider Netzhautbilder herstellen, wie sie die Betrachtung des riginals selbst ergeben würde. Eben deshalb ist ein Reliefbild aus dem chtigen Standpunkte angesehen eine sehr viel vollkommenere Art der achahmung, wenigstens der Form des Objects, als es das vollkommenste bene Bild je sein kann. Es gehören dahin nicht nur die Basreliefs und autreliefs der Sculptur, welche menschliche Köpfe, Figuren und Figuren- ruppen darstellen, sondern auch Theaterdecorationen, welche Landschaften der Zimmer, Kirchenportale, welche perspectivisch verkürzte Säulenhallen arstellen u. s. w.

Man kann die empirisch von den Künstlern[1] gefundenen Regeln der 660
eliefconstructionen aus einem einfachen stereoskopischen Versuche herleiten. an bringe eine stereoskopische Doppelzeichnung, deren beide Bilder aber uf getrennten Papierstücken ausgeführt sind, zunächst in solcher Lage zur ereinigung, dafs sie bei richtig gewähltem Convergenzgrade der Augen erade denselben Anblick wie das Original gewähren. Dann nähere man eide Bilder einander, aber so, dafs beide in derselben Ebene bleiben. abei wächst die Convergenz der Gesichtslinien, während die Netzhaut- ilder der beiden Bilder keine, oder wenigstens nur sehr kleine Ver- nderungen erleiden, und der sinnliche Eindruck bleibt also, abgesehen von er verhältnifsmäfsig undeutlichen Wahrnehmung der vermehrten Convergenz, st derselbe wie zuvor. Denken wir uns nun das Object construirt, welches der neuen Lage der Bilder diesen entsprechen würde, so ist dieses ein eliefbild des Originalobjects. An dem Relief ist zu unterscheiden eine auptebene (Ebene des Hintergrundes), in die alle die unendlich eit entfernten Punkte des Originals zu liegen kommen, und eine ihr parallele ongruenzebene, in der die Punkte liegen, die mit ihrem Bilde zu- mmenfallen. Wenn das Relief dem Beschauer das Original in natürlicher röfse darstellen soll, mufs die Congruenzfläche durch die Augen des eschauers gehen. Will man dagegen den Anblick des Originals nicht in atürlicher Gröfse, sondern den eines verkleinerten oder vergröfserten odells desselben wiedergeben, so kann die Congruenzfläche auch anders elegt werden, so dafs der Gesichtspunkt, welcher den Mittelpunkt beider ugen des Beobachters repräsentirt, nicht in ihr liegt.

Alle Ebenen des Originals bleiben im Reliefbild Ebenen, alle geraden nien bleiben gerade Linien.

Alle Ebenen des Originals und alle geraden Linien, die der Congruenz- che parallel sind, bleiben dieser und sich selbst parallel auch im Relief.

---

[1] J. A. Breysig, *Versuch einer Erläuterung der Reliefperspective.* Magdeburg 1798.

Alle anderen einander parallelen Ebenen des Originals schneiden sic im Relief in einer geraden Linie des Hintergrundes.

Alle parallelen Geraden des Originals, die nicht der Congruenzfläch parallel sind, schneiden sich in einem Punkte des Hintergrundes.

Alle Ebenen und Geraden, die durch den Gesichtspunkt gehen, behalt ihre Lage bei auch im Reliefbild.

Endlich, wenn f und φ die Abstände beziehlich eines Punktes d Originals und seines Bildes von der Congruenzfläche bezeichnen und g d Abstand des Hintergrundes von der Congruenzfläche, so ist

$$\frac{1}{\varphi} - \frac{1}{f} = \frac{1}{g}$$

die Gleichung, welche den Abstand φ giebt; dieselbe, welche den Absta des Bildes φ von einer Concavlinse von der Brennweite $-g$ ergeben würd

Ganz wie in den Bildern einer solchen werden die Bilder entfernt Gegenstände sehr nahe zusammengerückt, während die von näher

661 Objecten relativ gröfsere Tiefendimensionen erhalten. Eine Concavlinse zei also ein richtig construirtes Reliefbild der durch sie gesehenen Object

Wenn man die Congruenzebene und die Ebene des Hintergrunds zusamme fallen läfst, so wird aus dem Reliefbild ein perspectivisches ebenes Bild.

In den Reliefbildern werden gleich gut wahrnehmbare Theile der Tiefe dimensionen dargestellt durch gleich grofse Tiefenunterschiede; und in diese Sinne können wir sagen, dafs wir die objective Welt binocular wie in eine Reliefbild sehen. Wie in einem solchen sind selbst grofse Abstände se entfernter Gegenstände von einander, in Richtung der Tiefe genommen, n sehr schwach wahrnehmbar, während selbst kleine Tiefenabstände nah Objecte deutlich ausgedrückt sind.

Schliefslich habe ich noch gewisse Fehler zu besprechen, welche t der Beurtheilung von Linienrichtungen beim zweiäugigen Sehen eintrete und auf welche E. Hering aufmerksam gemacht hat. Wenn man nämli nach einem langen vertical hängenden Faden hinsieht, der sich vor ein entfernteren gleichmäfsig angestrichenen Wand befindet, welche keine deutli sichtbaren Merkpunkte oder Linien darbietet, nach denen man sich üb die Lage der Verticale oder Horizontale orientiren könnte, den Faden sell aber so lang macht, dafs man seinen oberen und unteren Endpunkt nic sehen kann, oder aber ihn durch einen Hohlcylinder von der Breite d Gesichts hindurch betrachtet, der den Anblick seiner Enden und seitlich Gegenstände ausschliefst, so kann man bei zweiäugiger Betrachtung do noch beurtheilen, ob der Faden wirklich vertical sei oder nicht, und we er nicht vertical erscheint, ihn durch Verschiebung seines unteren End vertical zu machen suchen. Dabei zeigt es sich, wie ich übereinstimme mit Hering[1] finde, dafs, wenn bei der gewählten Kopfstellung die horizont

[1] E. Hering, *Beiträge zur Physiologie.* Heft V, S. 297.

isirebene sich in ihrer Primärlage und der Faden sich in der Medianebene efindet, der wirklich verticale Faden auch für vertical gehalten wird. Wenn an dagegen den Kopf nach hinten übergebeugt hat, so dafs die Visirebene nterhalb ihrer Primärlage sich befindet, während der Faden in der Median-bene bleibt, so mufs man das untere Ende des Fadens vom Beobachter itfernen. Ist umgekehrt der Kopf vornübergeneigt und die Visirebene über rer Primärlage, so mufs man das untere Ende des Fadens dem Beobachter thern, damit der Faden vertical erscheine.

Wenn der Faden sich nicht in der Medianebene befindet, sondern chts von derselben, so erscheint er bei aufrechter Kopfhaltung, wenn die rizontale Visirebene in ihrer Primärlage befindlich ist, wieder vertical, nn er wirklich vertical ist, und wieder mufs sein unteres Ende genähert rden, wenn der Kopf vorn übergebeugt wird. Um die Ebene annähernd bestimmen, in der er geneigt werden mufs, um vertical zu erscheinen, be ich um den unteren Theil des Fadens einen zweiten gelegt, der eine e Schlinge bildete, und mittels dieses zweiten den ersten so an mich rangezogen, dafs jener vertical schien. Wenn ich dann nach dem horizon-en Faden herabblickte, wobei der verticale in stark divergirenden Doppel-dern erscheint, halbirte gewöhnlich der horizontale den Winkel dieser 662
ppelbilder, woraus folgt, dafs der vertical erscheinende Faden, wenigstens hehin, soweit die hier erreichbare Genauigkeit zu beurtheilen zuläfst, in r den Convergenzwinkel halbirenden Verticalebene liegen mufste.

Bei hinten übergeneigtem Kopfe dagegen mufste ich das untere Ende s Fadens von mir wegziehen, wobei die Richtung des ziehenden Fadens er, so weit erkennbar, dieselbe blieb, wie vorher.

Die Erklärung dieser Thatsachen scheint mir zusammenzuhängen mit n im vorigen Paragraphen Seite 755 und 756 erwähnten Umstande, dafs bei vergirenden Augen die Richtung und Lage der gesehenen Objecte so urtheilt wird, als wenn das Auge eine der mittleren Sehrichtung parallele htung und die entsprechende Raddrehung hätte. Die stattfindende Con-genz der Augen wird hierbei nicht berücksichtigt. Wenn wir dies auf den r vorliegenden Fall übertragen, so würde folgen, dafs diejenigen Linien rtical zur Visirebene erscheinen, welche sich abbilden auf chen Meridianen des Auges, welche bei der Stellung des ges parallel der mittleren Sehrichtung wirklich vertical sein rden zur Visirebene.

Wenn der Fixationspunkt in der Medianebene liegt, so wird die mittlere richtung der Medianebene parallel sein, und bei Augen, die dem TING'schen Gesetze folgen, keine Drehung um ihre Längsaxe bedingen. o werden die in der Primärstellung zur Visirebene verticalen Meridiane h bei geneigter Visirebene zu dieser normal sein, so lange die Augen mittleren Sehrichtung, also der Medianebene parallel gerichtet sind. t man aber zur Convergenzstellung über, so werden sie bei nach unten eigter Visirebene sich so drehen, dafs die vorher senkrechten Median-

ebenen derselben nach oben hin convergiren, umgekehrt bei nach obe geneigter Visirebene. Die Schnittlinie jener beiden Meridianebenen würd die scheinbar zur Visirebene senkrechte Linie sein, welche im ersteren Fall nach oben, im andern nach unten sich dem Beobachter nähert.

Bei den seitlich nach unten oder oben geneigten Blickrichtungen sin aber nicht mehr dieselben Meridiane der Augen zur Visirebene normal, wi in der Primärstellung. Dafs auch der scheinbar verticale Faden sich i beiden Augen nicht auf den in der Primärstellung verticalen Meridiane abbildet, kann man leicht erkennen, wenn man gerade vor sich an de Wand einen verticalen Streifen befestigt, der deutliche Nachbilder liefer Diese Nachbilder bilden dann zum Theil sehr grofse Winkel mit de scheinbar verticalen Faden, sobald man diesen fixirt. Der scheinbar vertica Faden scheint also hier zu liegen in denjenigen Meridianen, welche bei de der mittleren Sehrichtung parallelen Blickrichtung vertical sein würden.[1]

Zu bemerken ist aber, dafs nach VOLKMANN's Versuchen, die ich selb bestätigt finde, bei mangelnder Raddrehung und monocularem Sehen d
663 scheinbar zum Netzhauthorizont verticalen Meridiane auch absolut vertic erscheinen, während beim binocularen Sehen die verticale Linie entsprech mufs den beiden zur Visirebene absolut verticalen Meridianen. Beim binocu laren Sehen hebt sich also der einander entgegengesetzte Einflufs, den d Neigung der scheinbar verticalen Meridiane beider Augen auf die Beu theilung der Stellung einer Senkrechten haben könnte, gegenseitig au Dafs dies für die Neigungen nach rechts und links hin geschieht, erklä sich leicht; zu bemerken aber ist, dafs für die Beurtheilung der Neigun der gesehenen Linie nach vorn- oder nach hintenüber die Abweichung d scheinbar verticalen Meridiane ohne Wirkung bleibt. Wir werden im nächst Paragraphen sehen, dafs diese Abweichung sich wahrscheinlich an der A schauung horizontaler Linien erzeugt hat, und daraus erklärt sich dan dafs sie uns nicht über verticale Linien täuscht.

Ein ähnlicher Irrthum über die Tiefendistanz kommt nun übrigens nic blos bei solchen Linien vor, die durch den Fixationspunkt gehen und i der Medianebene liegen, sondern auch bei anders gerichteten Linien, d durch den Fixationspunkt gehen und nur nahehin senkrecht zur mittler Sehrichtung sind. Die scheinbare Lage solcher Linien entspricht dem vorh aufgestellten Gesetze. Wir deuten sie so, als wenn wir dieselben Netzhau bilder erhalten hätten bei einer Stellung der Augen, parallel der mittler Sehrichtung.

In dieser Beziehung hat RECKLINGHAUSEN gezeigt, dafs, wenn man a einer ebenen Fläche einen Stern zeichnet, aus einer Anzahl von Lini

[1] Herr E. HERING hat diese Erscheinungen mit der Horopterlehre in Verbindung gebracht, wov im folgenden Paragraphen mehr. Ich bemerke, dafs die vertical zur Visirebene erscheinenden Lin bei mir nie im Horopter liegen, sondern stets in gekreuzten Doppelbildern erscheinen. Da bei He HERING's Augen die Abweichung der zum Netzhauthorizont wirklich und scheinbar verticalen Meridi fehlt oder sehr gering ist, so wird seine Regel für sein Auge, wenigstens in den Medianstellungen, denen er spricht, individuelle Richtigkeit haben.

estehend, die sich in einem Punkte schneiden, und man diesen Mittelpunkt est mit nach oben gerichtetem Blick fixirt, die nach oben gerichteten trahlen des Sterns in einer concaven Kegelfläche zu liegen scheinen, die ach unten gerichteten in einer convexen; umgekehrt, wenn man den reuzungspunkt der Strahlen mit nach unten gerichtetem Blicke fixirt. Ich nde die Täuschung noch auffallender, wenn man die nahehin horizontalen trahlen wegläfst und statt der auf Papier gezeichneten Linien feine glatte rähte benutzt, die man in einem Korke so feststeckt, dafs sie von einem unkte aus divergiren und in einer Ebene liegen.

Der Theorie nach, welche aus dem oben angeführten Gesetze hergeleitet t, müssen die besagten Linien scheinbar in einer Kegelfläche zweiten rades liegen, deren Spitze im Fixationspunkte liegt, die ferner durch die eiden Blicklinien geht und deren Durchschnitt mit der durch die Mittelunkte der Augen senkrecht zur Visirebene gelegten Ebene eine Ellipse t, deren verticale Axe etwas gröfser ist, als die horizontale.

Recklinghausen hat auch durch Versuche die Lage solcher Linien rmittelt, die zur mittleren Sehrichtung bei gehobenem oder gesenktem icke senkrecht erschienen. Er benutzte dazu einen feinen glatten Draht, r in der Mitte mittels eines feinen Charniergelenks so verstellt werden nnte, dafs er verschiedene Neigung gegen die mittlere Sehrichtung albirungslinie des Convergenzwinkels) erhielt. Das Gelenk, was ihn trug, r andererseits an einer runden Eisenstange befestigt, welche in der Verngerung der mittleren Sehrichtung lag und um ihre Längsaxe gedreht rden konnte. Durch Drehung um diese Axe konnte der Ebene, in welcher r Draht sich bewegte, verschiedene Neigung gegen die Visirebene gegeben d bei jeder Stellung dieser Ebene die Stellung des Drahtes gesucht werden, *664*
i welcher sein oberes und unteres Ende gleich weit vom Beobachter tfernt schien.

Die Theorie fordert für die genannten Lagen des Drahtes wiederum e durch den Fixationspunkt und die Blicklinien gehende Kegelfläche eiten Grades. Die Messungen von Recklinghausen stimmten sehr gut t dieser Folgerung der Theorie. Er nannte diese Fläche die Normaliche, weil in ihr die zur mittleren Sehrichtung scheinbar normalen Linien gen.

Diese Normalfläche würde für solche Augen, welche keine Abweichung s scheinbar verticalen Meridians haben, mit der im nächsten Paragraphen untersuchenden Horopterfläche für Linien, die durch den Fixationspunkt ien, zusammenfallen. Dagegen ist sie mit dieser nicht identisch bei gen, deren scheinbar verticale Meridiane nicht mit den wirklich verticalen ammenfallen,[1] wie sich weiter unten zeigen wird.

Wenn man ein System concentrischer Kreise auf ein Blatt zeichnet und

[1] Recklinghausen selbst hat diesen Unterschied nicht gemacht; denn obgleich er die Abweichung scheinbar verticalen Meridians entdeckt hat, hat er den Einflufs dieser Abweichung auf die Lage identischen Stellen noch nicht gekannt.

bei convergirenden Gesichtslinien und geneigter Blickebene deren Mittelpunk fixirt, so erhalten diese Kreise ebenfalls eine kleine scheinbare Drehung u ihre horizontale Axe in demselben Sinne, wie die verticalen Linien, abe von geringerer Gröfse. Hat man nun einen verticalen Diameter der Kreis hinzugefügt, so wird dieser stärker geneigt, als die Kreise, und löst sic scheinbar von ihnen los. Bei gehobener Blickebene erscheint das ober Ende des Durchmessers dem Beobachter näher als die Ebene der Kreis das untere entfernter. Umgekehrt bei gesenkter Blickebene.

Da die horizontal verlaufenden Bögen der Kreise keine sichere binocu lare Anschauung geben, erscheinen sie auch zuweilen winkelig verbogen un dem Durchmesser anzuhaften.

Auch dieser Versuch gelingt sehr viel leichter, wenn man Kreise un Durchmesser aus sehr feinen Drähten zusammenfügt. Die hierbei vo kommende Täuschung erfordert, dafs der Beobachter am Bilde die stat gefundene Drehung der Augen nicht erkennen könne. Auf einem Papie blatte sind in der Regel Merkpunkte genug, an denen der Beobacht erkennt, dafs er zwei gegen einander gedrehte Bilder desselben Objects v sich hat. Die Objecte für die hier beschriebenen Versuche müssen so b schaffen sein, dafs sie auch unter Voraussetzung kleiner Drehungen ihr Netzhautbildes noch eine reelle Deutung zulassen. Wir fanden oben e ähnliches Verhältnifs für die Erkennung der Convergenz aus gewisse Eigenthümlichkeiten der Bilder.

Regeln der stereoskopischen Projection.

Es sei in *Fig. 235* die Ebene des Papiers die Visirebene, in der P und die Mittelpunkte der Visirlinien für beide Augen darstellen. Es sei AB d Durchschnitt einer stereoskopisch Zeichnung, deren Ebene norm sowohl zur Visirebene als z Medianebene des Kopfes sei, d gewöhnlichen Haltung entsprechen in der man stereoskopische Zeic nungen zu betrachten pflegt. C sei die Medianlinie der Visirebe S ein darzustellender Punkt, d auch aufserhalb der Visirebe
665 liegen kann; in diesem Falle ste das S in der Zeichnung den Fu punkt des von ihm auf die Vis ebene gefällten Perpendikels d Um die Projection des Punktes in den beiden Zeichnungen finden, ziehe man die Linien

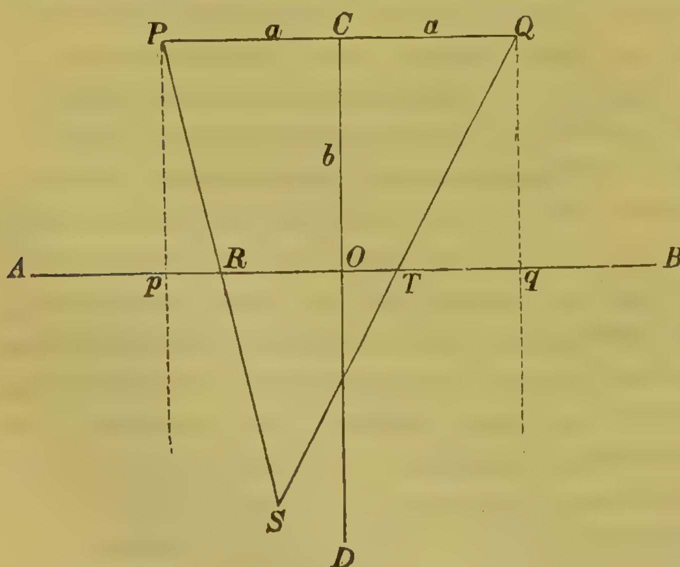


Fig. 235.

und SQ, welche die Ebene der Zeichnung in R und T schneiden. Die letzter beiden Punkte sind diejenigen, in welchen S beziehlich für das Auge P oder

arzustellen ist. Um die Lage dieser Punkte zu bezeichnen, wollen wir rechtinkelige Coordinaten benutzen, welche beziehlich der Visirebene, der Medianebene nd der Ebene der zu machenden Zeichnung parallel seien, deren Mittelpunkt O er Durchschnittspunkt der drei genannten Ebenen ist. Und zwar sei OA die ichtung der positiven x, OD die der positiven z, die y senkrecht zur Ebene es Papiers. Bezeichnen wir demgemäfs die Coordinaten

1) des Punktes P mit $x = +a$, $z = -b$, $y = 0$

2) des Punktes Q mit $x = -a$, $z = -b$, $y = 0$

3) des Punktes S mit $x = \alpha$, $y = \beta$, $z = \gamma$

4) des Punktes R mit $x = \xi_0$, $y = v_0$, $z = 0$

5) des Punktes T mit $x = \xi_1$, $y = v_1$, $z = 0$,

 sind die Bedingungen dafür, dafs die Punkte P, R, S in einer geraden Linie egen,

$$\frac{\alpha - a}{\alpha - \xi_0} = \frac{\beta}{\beta - v_0} = \frac{\gamma + b}{\gamma} \quad \ldots \ldots \quad 1)$$

nd die Bedingungen, dafs Q, T, S in einer geraden Linie liegen,

$$\frac{\alpha + a}{\alpha - \xi_1} = \frac{\beta}{\beta - v_1} = \frac{\gamma + b}{\gamma} \quad \ldots \ldots \quad 2).$$

Zunächst zeigt sich, dafs

$$v_0 = v_1 = \frac{\beta b}{\gamma + b} \quad \ldots \ldots \quad 1\ a),$$

fs also in beiden Bildern die Höhen entsprechender Punkte über der Horizontalie AB gleich grofs sein müssen.

Die beiden Gleichungen ergeben ferner

$$\xi_0 = \alpha - \frac{\gamma(\alpha - a)}{\gamma + b} = \frac{\alpha b + \gamma a}{b + \gamma}$$

$$\xi_1 = \alpha - \frac{\gamma(\alpha + a)}{\gamma + b} = \frac{\alpha b - \gamma a}{b + \gamma}$$

666 Die Differenz ε dieser beiden Werthe

$$\varepsilon = \xi_0 - \xi_1 = \frac{2\gamma a}{b + \gamma} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1\,\mathrm{b}$$

ist unabhängig von den Werthen von α und β; sie ist also für alle Objectpunkt dieselbe, welche als in gleicher Entfernung hinter der Ebene der Zeichnung liegen angenommen werden. Diese Differenz $(\xi_0 - \xi_1)$ bezeichnet die Gröfse de Verschiebung, welche die Punkte der einen Zeichnung im Vergleich zu denen de andern nach rechts oder nach links hin erlitten haben. Dabei ist angenommen dafs die Zeichnungen so aufeinander gelegt sind, dafs Punkte, die in dieser Eben der Zeichnung selbst gedacht werden (z. B. die Linie, welche die Zeichnun einrahmt), aufeinander fallen. In vielen Fällen ist es dagegen passender, di Zeichnungen so zu vergleichen, dafs unendlich weit entfernte Punkte aufeinande fallen, zum Beispiel die Punkte p, q, welche durch die beiden parallel mit $C1$ gerichteten Blicklinien Pp und Qq getroffen werden. Setzen wir $\gamma = \infty$, so wir nach Gleichung 1 b)

$$\varepsilon_\infty = 2a$$

und setzen wir

$$e = \varepsilon_\infty - \varepsilon$$

und

$$b + \gamma = \varrho,$$

so ist

$$e = \frac{2ab}{\varrho} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1\,\mathrm{c}$$

In dieser Gleichung bezeichnet $2a$ die Distanz beider Augen, b den Abstan der Zeichnung, ϱ den Abstand des Objects von einer Ebene, die durch di Mittelpunkte beider Augen senkrecht zur Visirebene gelegt ist. Für alle reellen vor den Augen liegenden Punkte mufs e immer positiv sein, weil $2a$, b und immer positiv sind. Dabei liegt in dem Bilde für das rechte Auge jeder nähere Punkt mehr nach links als in dem des linken Auges. Zugleich läfst die Gleichung 1 c erkennen, dafs die stereoskopische Differenz e für sehr grofse Werthe von sehr klein ist und erst für kleine Werthe von ϱ grofs wird.

Den Umstand, dafs die Gröfse von e gleich grofs ist für Gegenstände, di alle in derselben, der Ebene der Zeichnung parallelen Ebene liegen, hat O. N. ROOD benutzt, um ein Instrument zu construiren, mit dem man von gegebenen einzelne perspectivischen Zeichnungen beliebiger Objecte ein Paar zusammengehörige stereo skopische Zeichnungen copiren kann. Das Original, mit Oel transparent gemacht wird auf einer horizontalen Glasplatte befestigt und von unten her beleuchte Darauf wird ein ebener viereckiger Rahmen gelegt, dessen untere Seite mit Schreib papier überzogen ist. Dieser Rahmen kann mittels einer Stellschraube um klein Distanzen von rechts nach links verschoben werden. Man zeichnet nun zunächs eine Zeichnung vollständig nach, ohne die Stellung des Rahmens zu verändern und die andere so, dafs man mit den ganz vorn befindlichen Linien beginnt un dann zu den nächst entfernteren übergeht und so fort. Bei jedem Uebergang aber zu entfernteren Punkten verschiebt man den Rahmen, der die Copie trägt

[1] O. N. ROOD, *American Journal of Science and Arts.* Vol. XXXI, p. 71. 1861.

in wenig, entsprechend dem Tiefenabstande. So erhält man zwei Zeichnungen, velche stereoskopisch combinirt ein körperliches Relief zeigen.

Wenn zwei Punkte von verschiedenem Abstande $\varrho_{,}$ und $\varrho_{,,}$ stereoskopisch rojicirt sind und die entsprechenden stereoskopischen Differenzen mit $e_{,}$ und $e_{,,}$ 667 ezeichnet werden, so ist

$$e_{,} - e_{,,} = 2ab \left(\frac{1}{\varrho_{,}} - \frac{1}{\varrho_{,,}}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2\text{a})$$

Nehmen wir hierin für $e_{,} - e_{,,}$ den kleinsten in der Zeichnung erkennbaren bstand, so erhalten wir zusammengehörige Werthe der Abstände $\varrho_{,}$ und $\varrho_{,,}$, elche an der Grenze der erkennbaren Unterschiede liegen. Setzen wir zur bkürzung

$$\frac{2ab}{e_{,} - e_{,,}} = f,$$

o wird die Gleichung 2a)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\varrho_{,}} - \frac{1}{\varrho_{,,}}$$

ie oben für diesen Fall gegebene Formel. Wenn wir die mittlere geometrische roportionale zwischen $\varrho_{,}$ und $\varrho_{,,}$ mit $\mathfrak{r}$ bezeichnen, so läfst sich die letzte Formel ich schreiben

$$\varrho_{,,} - \varrho_{,} = \frac{\mathfrak{r}^2}{f},$$

h. die stereoskopisch unterscheidbaren Unterschiede der Entfernung achsen wie die Gröfse des Quadrats der mittleren Entfernung $\mathfrak{r}$.

Um die Veränderungen zu übersehen, welche das stereoskopische Relief bei rschiedenen Verschiebungen der Bilder liefert, müssen wir die scheinbaren Coornaten des Objectpunktes α, β, γ ausdrücken durch die Coordinaten seiner beiden lder $\xi_{,}$, $\xi_{,,}$, v. Aus den obigen Gleichungen 1) und 2) ergiebt sich

$$\frac{\alpha - a}{\alpha - \xi_0} = \frac{\alpha + a}{\alpha - \xi_1}$$

ler

$$\alpha = \frac{a(\xi_1 + \xi_0)}{2a + \xi_1 - \xi_0}$$

$$\beta = \frac{2va}{2a + \xi_1 - \xi_0}$$

$$\gamma = \frac{b(\xi_0 - \xi_1)}{2a + \xi_1 - \xi_0}$$

er wenn wir wie vorher die stereoskopische Differenz

$$2a + \xi_1 - \xi_0 = e$$

setzen und das arithmetische Mittel von ξ_0 und ξ_1 mit $\mathfrak{x}$ bezeichnen, so ist

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \mathfrak{x}\frac{2a}{e} \\ \beta &= v\frac{2a}{e} \\ \varrho = \gamma + b &= b\frac{2a}{e} \end{aligned}\right\} \quad 3a)$$

668 Wenn wir ein Paar zusammengehöriger stereoskopischer Zeichnungen beide nach einer Seite bewegen, also $\mathfrak{x}$ vergröfsern, während e, v, b unverändert bleiben, so vergröfsern sich die Werthe von α, während β und ϱ unverändert bleiben. Die Vergröfserung von α ist aber im Verhältnifs $\frac{2a}{e}$ gröfser als die von $\mathfrak{x}$. Eliminiren wir die stereoskopische Differenz e aus der ersten und dritten Gleichung, so wird

$$\alpha = \varrho \cdot \frac{\mathfrak{x}}{b} \,.$$

Die Vergröfserungen von α sind also auch proportional der scheinbaren Entfernung ϱ des Objectpunktes; d. h. also die Punkte, welche vor der Verschiebung scheinbar gerade hinter einander lagen, d. h. gleiche Werthe von $\mathfrak{x}$ hatten, liegen nach der Verschiebung in einer geraden Linie, die durch den mitten zwischen den Mittelpunkten beider Augen liegenden Punkt zu ziehen ist.

Wenn wir ein Paar zusammengehöriger stereoskopischer Zeichnungen, die auf einem Blatte ausgeführt sind, von dem Auge entfernen, also b vergröfsern, während $\mathfrak{x}$, v, e und a unverändert bleiben, so bleiben die Werthe von α und β unverändert, die Tiefendimension ϱ aber wächst in demselben Verhältnisse wie b. Man beobachtet dies in der That leicht, wenn man ein solches Paar stereoskopischer Bilder mit parallelen Gesichtslinien zur Coincidenz bringt; ihr Relief wird desto tiefer, je weiter man die Bilder vom Auge entfernt.

Um endlich die Veränderungen übersehen zu können, welche eintreten, wenn man die stereoskopischen Zeichnungen einander nähert oder von einander entfernt, schreiben wir die Gleichungen 3a) in folgender Form

$$\left.\begin{aligned} \frac{\alpha}{\varrho} &= \frac{\mathfrak{x}}{b} \\ \frac{\beta}{\varrho} &= \frac{v}{b} \\ \frac{1}{\varrho} &= \frac{e}{2ab} \end{aligned}\right\} \quad 3b)$$

und bemerken dabei, dafs $2\mathfrak{x} = \xi_0 + \xi_1$ und $e = 2a + \xi_1 - \xi_0$ ist. Wenn man nun das rechte Bild nach links, das linke nach rechts schiebt um die Länge η, so

verkleinert man ξ_0 und vergröfsert ξ_1 um die Länge η, folglich bleibt $\mathfrak{x}$ (so wie auch v) ungeändert, während der Werth von e um 2η wächst. Nennen wir nun α_1, β_1 und ϱ_1 die Werthe von α, β, ϱ welche nach dieser Verschiebung gelten, so verwandeln sich die Gleichungen 3b) in folgende

$$\frac{\alpha_1}{\varrho_1} = \frac{\mathfrak{x}}{b}, \qquad \frac{\beta_1}{\varrho_1} = \frac{v}{b}$$

$$\frac{1}{\varrho_1} = \frac{e + 2\eta}{2ab}.$$

Drückt man in diesen nun $\mathfrak{x}$, v und e durch ihre Werthe in 3b) aus, so erhält man

$$\left.\begin{aligned} \frac{\alpha_1}{\varrho_1} &= \frac{\alpha} {\varrho} \\ \frac{\beta_1}{\varrho_1} &= \frac{\beta}{\varrho} \\ \frac{1}{\varrho_1} &= \frac{1}{\varrho} + \frac{\eta}{ab} \end{aligned}\right\} \quad 4).$$

Hierin sind α, β, ϱ die ursprünglichen Coordinaten des betreffenden Objectpunktes, bezogen auf ein Coordinatensystem, dessen Mittelpunkt in der Mitte zwischen den Mittelpunkten beider Augen liegt und den wir den Gesichtspunkt nennen wollen, α_1, β_1 und ϱ_1 sind die entsprechenden Coordinaten für die scheinbare Lage des Punktes, welche er nach der gegenseitigen Näherung der richtigen stereoskopischen Projectionen hat. Durch die Gleichungen 4) ist für jeden Punkt die Lage seines Bildes nach solcher Verschiebung eindeutig gegeben. Die ersten beiden Gleichungen sagen aus, dafs der scheinbare und wahre Ort des Punktes beide in der gleichen vom Mittelpunkt der Coordinaten aus gezogenen geraden Linie liegen. Die dritte Gleichung zeigt an, dafs seine Entfernung von der durch beide Augen gelegten Verticalebene verändert, und zwar bei positiven Werthen von η verringert ist. Setzen wir die Gröfse $\frac{ab}{\eta} = p$, so wird die letzte Gleichung 669

$$\frac{1}{\varrho_1} = \frac{1}{\varrho} + \frac{1}{p} \quad \ldots\ldots \quad 4a)$$

dieselbe, welche die Entfernungen des Objects ϱ und seines Bildes ϱ_1 für eine Concavlinse von der Brennweite p geben würde.

Für unendlich weit entfernte Punkte wird $\varrho = \infty$ und $\varrho_1 = p$.

Es bezeichnet also p die Entfernung der Ebene, auf der sich alle unendlich weit entfernten Punkte des Originals abbilden, welche wir mit Breysig die Hauptebene nennen können.

Wenn der Objectpunkt α, β, ϱ irgend einen Punkt einer bestimmten Ebene bezeichnet, also für ihn eine Gleichung von der Form existirt

$$A\alpha + B\beta + C\varrho + D = 0 \quad \ldots\ldots \quad 5),$$

so ergiebt sich aus den Gleichungen 4) und 4a)

$$A\alpha_1 + B\beta_1 + \left[C - \frac{D}{p}\right]\varrho_1 + D = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5\,a$$

Die Bildpunkte liegen also auch in einer Ebene; und wenn $A = B = ($ das heifst die Ebene des Originals der durch beide Augen gehenden Verticaleber $\varrho = 0$ parallel ist, so ist die Bildebene derselben Ebene also auch ihrem Origin parallel. Wenn andererseits $D = 0$ ist, das heifst die Originalebene durch de Mittelpunkt der Coordinaten, oder den Gesichtspunkt geht, so fällt die Bildeber ganz mit ihrem Original zusammen.

Wenn wir im Original eine Schaar paralleler Ebenen haben, deren Gleichu in der Form 5) gegeben ist und die einzeln dadurch unterschieden sind, dafs . für jede einen andern Werth hat, so reducirt sich die Gleichung 5a) für die Bil ebenen, wenn man darin $\varrho_1 = p$ setzt, auf

$$A\alpha_1 + B\beta_1 + Cp = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4$$

welche unabhängig von D ist. Das heifst die Abbilder aller jener parallelen Eben schneiden die Ebene $\varrho_1 = p$ (die Hauptebene) in derselben geraden Linie, der Gleichung in 4b) gegeben ist.

Die Abbilder einer Schaar paralleler Ebenen schneiden sich also entwed einander und die Hauptebene gar nicht, oder sie schneiden sich und die Hauptebe alle in einer geraden Linie, ihrer Fluchtlinie. Da nach der vorher gemacht Bemerkung diejenige in jener Schaar paralleler Ebenen, welche durch den Mittelpun des Coordinatensystems geht, mit ihrem Bilde zusammenfallen mufs, so mufs die
670 Ebene auch die Hauptebene in der Fluchtlinie schneiden. Um die Fluchtlir einer Schaar paralleler Ebenen zu finden, lege man ihnen parallel also eine Ebe durch den Gesichtspunkt; diese schneidet die Hauptebene in der gesuchten Fluchtlin

Wenn wir ferner die Gleichungen 4) in die Form setzen

$$\alpha_1 - \alpha + \frac{\alpha\varrho_1}{p} = 0, \qquad \beta_1 - \beta + \frac{\beta\varrho_1}{p} = 0,$$

$$\varrho_1 = \frac{\varrho\, ab}{ab + \varrho\eta},$$

so ergiebt sich, dafs für $\varrho = 0$ sein mufs

$$\varrho_1 = \varrho = 0, \qquad \alpha_1 = \alpha, \qquad \beta_1 = \beta,$$

dafs also für jeden Punkt der Ebene $\varrho = 0$ das Abbild mit dem Original sammenfällt.

Nennen wir diese Ebene $\varrho = 0$ die Congruenzebene (BREYSIG's Bildeben so ist das Bild jeder Ebene A des Originals zu construiren, indem man eine Eb legt durch die Schnittlinie von A mit der Congruenzebene und die zu A gehör Fluchtlinie.

Gerade Linien des Originals sind zu betrachten als Schnittlinien je zwe Ebenen. Ihr Bild mufs die Schnittlinie der Abbilder beider Ebenen, also wie eine gerade Linie sein. Eine Schaar paralleler gerader Linien kann angesel werden als das System der Schnittlinien von zwei Schaaren paralleler Ebenen.]

Abbilder dieser Ebenen müssen sich beziehlich mit der Hauptebene in den beiden zugehörigen Fluchtlinien schneiden, und ihre Schnittlinien, das heifst die Abbilder aller jener parallelen geraden Linien des Originals werden durch den Schnittpunkt beider Fluchtlinien gehen müssen, wenn die beiden Fluchtlinien sich überhaupt schneiden, was sie nicht thun würden, wenn die Schaar der gegebenen geraden Linien der Hauptebene und Antlitzebene parallel wäre.

Die Abbilder paralleler gerader Linien, wenn sie der Hauptebene nicht parallel sind, schneiden diese also in einem Punkte, dem Fluchtpunkte.

Dieser Fluchtpunkt für eine gerade Linie des Originals, die der Hauptebene nicht parallel ist, wird gefunden, wenn man durch den Gesichtspunkt mit der betreffenden Geraden eine Parallele legt; wo diese die Hauptebene schneidet, ist der Fluchtpunkt.

Das Abbild einer geraden Linie des Originals findet man, indem man ihren Schnittpunkt mit der Congruenzebene durch eine Gerade mit dem zugehörigen Fluchtpunkte verbindet.

Man sieht, dies sind genau dieselben Constructionsregeln, welche für Reliefbilder vorgeschrieben worden sind, mit der einzigen Ausnahme, dafs bei Reliefbildern die Ebene, deren Punkte mit ihren Bildern zusammenfallen (BREYSIG's Bildebene), nicht nothwendig durch die Augen selbst geht. Diese Bedingung ist nähmlich nur dann nothwendig zu erfüllen, wenn die Gröfse des durch das Reliefbild dargestellten Gegenstandes unverändert erscheinen soll.

Denkt man sich nähmlich sämmtliche Coordinaten der Punkte des Originals proportional verkleinert oder vergröfsert, setzt man also in die Gleichungen 4) statt

$$\alpha, \qquad \beta, \qquad \varrho,$$

beziehlich

$$n\alpha, \qquad n\beta, \qquad n\varrho,$$

so verwandeln sich die Gleichungen 4) in 671

$$\left.\begin{aligned} \frac{\alpha_1}{\varrho_1} &= \frac{\alpha}{\varrho} \\ \frac{\beta_1}{\varrho_1} &= \frac{\beta}{\varrho} \\ \frac{1}{\varrho_1} &= \frac{1}{n\varrho} + \frac{1}{p} \end{aligned}\right\} \quad 6).$$

Wenn ϱ unendlich ist, wird $\varrho_1 = p$, also die Ebene $\varrho_1 = p$ ist die Hauptebene, in der die unendlich entfernten Punkte abgebildet werden.

Wenn im Original die Ebene

$$A\alpha + B\beta + C\varrho + D = 0 \quad \ldots \quad 5)$$

besteht, so erhält man mittels der Gleichungen 6) für das Bild

$$A\alpha_1 + B\beta_1 + \left[C - D\frac{n}{p}\right]\varrho_1 + Dn = 0 \quad \ldots \quad 5\text{b}).$$

Wenn $D = 0$, so ist die zweite Gleichung identisch mit der ersten und di Originalebene fällt mit ihrem Bilde zusammen. Dieser Bedingung genügen d Ebenen, welche durch den Punkt $\alpha = \beta = \varrho = 0$ gehen, der also die Bedeutu des Gesichtspunktes hat. Endlich schneiden sich die Ebenen 5) und 5 b), v

$$D = Dn - Dn\,\frac{\varrho_1}{p} \quad \ldots\ldots\ldots$$

oder

$$\varrho_1 = p \cdot \frac{n-1}{n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad 5($$

Die durch die Gleichung 5 c) gegebene Ebene, die den Gesichtspunkt nic enthält, ist also die Congruenzebene. Sobald also das Relief nach den gewöhnli angenommenen Regeln construirt ist und der Gesichtspunkt nicht in der Congruen ebene liegt, so ist es, aus dem richtigen Gesichtspunkte betrachtet, optisch ähnli der Darstellung eines verkleinerten oder vergröfserten Modells des Originals, welchem der Gesichtspunkt des Beobachters seine relative Lage behalten h Dabei ist dann der Gesichtswinkel, unter dem das Reliefbild erscheint, noch d selbe, wie für das Original. Wenn die Congruenzebene zwischen Beobachter u Relief liegt, entspricht letzteres einem linear vergröfserten Objecte, wenn die Bi ebene dagegen hinter dem Beobachter liegt, einem linear verkleinerten Objecte.

Wenn die Congruenzebene sich der Hauptebene unendlich nähert ($n = \infty$ so verwandelt sich das Reliefbild in eine ebene perspectivische Zeichnung.

Die Veränderungen, welche scheinbar vor sich gehen, wenn man zwei richt stereoskopische Abbildungen eines Objects in ihrer eigenen Ebene einander näh oder entfernt, sind also von derselben Art, wie sie bei der Ausführung von Reli bildern des Originals stattfinden. Man beobachtet die Erscheinung auch leicht stereoskopischen Bildern, wenn man die angegebenen Bewegungen ausführt, kann durch dieses Mittel leicht die gewünschte richtige Tiefenanschauung Objects hervorbringen. Doch ist zu bemerken, dafs wir auch ohne den Bild die richtige Entfernung zu geben, bei bekannten Objecten meistens die richt Tiefenanschauung bilden, weil wir nicht sehr empfindlich für den absoluten We der Convergenz unserer Gesichtslinien sind, und eben deshalb leicht, wenn and Vergleichungspunkte fehlen, so urtheilen, als hätten unsere Blicklinien den G der Convergenz, der einer richtigen Tiefenanschauung des Objects entsprechen wür

672 Es ist hierbei freilich zu bemerken, dafs bei einer solchen Verschieb stereoskopischer Bilder nicht blos der Grad der Convergenz der Gesichtslin geändert wird, sondern auch die Ansicht der Bilder selbst, weil bei unveränder Fixation derselben Punkte die Gesichtslinien, wenn sie vor der Verschieb senkrecht auf der Fläche des Bildes waren, es nach der Verschiebung nicht m sind und daher auch das Bild sich etwas anders auf die Netzhaut projicirt. läfst sich aber leicht einsehen, dafs, wenn wir die Bilder selbst so drehen wol dafs ihr Netzhautbild unverändert bleibt, die nach entsprechenden Punkten Bilder gezogenen geraden Linien sich gröfstentheils nicht mehr schneiden würd und also kein reeller Punkt gleichzeitig den beiden Punkten in den Zeichnun entsprechen würde. Wie die Projection des Bildes in solchen Fällen gesch kann erst im folgenden Abschnitte bei der Lehre vom Horopter ermittelt werd

Wenn man stereoskopische Bilder durch convexe oder concave Linsen ansi welche dicht vor die beiden Augen des Beobachters gestellt sind, und deren Mit

punkte gleich weit von einander entfernt sind wie die Mittelpunkte beider Augen, so wachsen dadurch die Gröſsen e, $\mathfrak{x}$ und v der Gleichungen 3 a) in demselben Maaſse, wie die scheinbare Entfernung des Bildes b; es bleiben demnach die Werthe der Gröſsen α, β und ϱ ungeändert. Solche Linsen verändern also nicht die scheinbare Lage und Gröſse des stereoskopischen Reliefs. Es ist dies wichtig wegen der Brillengläser, welche, wenn sie richtig gestellt sind, keine Gröſsenveränderung im Gesammtbilde hervorbringen, trotzdem jedes einzelne optische Bild in der That vergröſsert oder verkleinert ist.

Damit aber Brillengläser richtige Gröſsen und Entfernungen der Objecte zeigen, ist es wesentlich nöthig, daſs ihre optischen Mittelpunkte gerade so weit von einander entfernt sind, wie die Knotenpunkte der parallel gestellten Augen. Wenn in *Fig. 236* a_0 der optische Mittelpunkt eines concaven Brillenglases ist, b das Object, $a_0 f_0$ die optische Axe des Glases, so liegt das Bild β_0 von b in der Verbindungslinie von a_0 mit b; und wenn man von b und β_0 die Lothe $b f_0$ und $\beta_0 \varphi_0$ auf die optische Axe fällt, die Brennweite des Glases mit p bezeichnet und alsdann setzt

$$a_0 f_0 = r \qquad a_0 \varphi_0 = s,$$

so ist nach den Theoremen des § 9, S. 84:

$$\frac{1}{r} - \frac{1}{s} = - \frac{1}{p}.$$

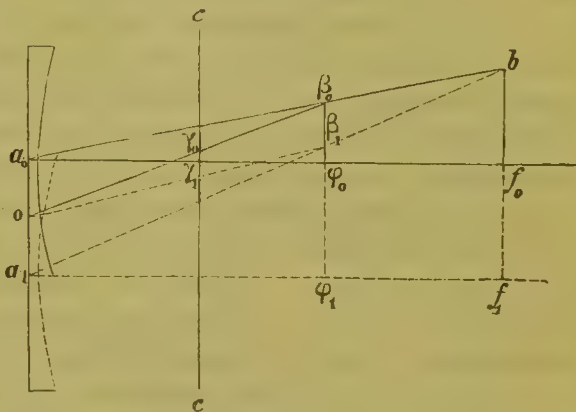


Fig. 236.

Dadurch ist die Lage von β_0 gegeben. Wenn nun die Linse parallel ihrer Hauptebene verschoben wird, so daſs ihr optischer Mittelpunkt in a_1 und ihre optische Axe in $a_1 f_1$ liegt, so wird das Bild von b in die Verbindungslinie von b mit a_1 rücken, übrigens in dem Lothe $\varphi_0 \beta_0$ bleiben. Das Bild verschiebt sich also um die Länge

$$\beta_0 \beta_1 = a_0 a_1 \times \frac{\varphi_0 f_0}{a_0 f_0} = \alpha \, . \, \frac{r - s}{r},$$

wenn wir die Verschiebung des Glases $a_0 a_1 = \alpha$ setzen. Daraus folgt mit Hülfe der obigen Gleichung zwischen r und s

$$\beta_0 \beta_1 = \alpha \frac{s}{p} = \alpha \frac{r}{r + p}.$$

Denken wir uns dicht hinter den Concavlinsen bei o ein Auge stehend, welches 673
nach den Bildern β_0 und β_1 hinblickt und diese Bilder auf die feste Ebene cc projicirt in γ_0 und γ_1, so ist die scheinbare Verschiebung der Projection auf dieser Ebene, deren Abstand von a_0 wir mit A bezeichnen wollen,

$$\gamma_0 \gamma_1 = \beta_0 \beta_1 \cdot \frac{A}{s} = \frac{\alpha A}{p},$$

also unabhängig von der Lage des Objects b. Die Verschiebung des optische Bildes bei Verschiebung der Concavlinse von a_0 nach a_1 ist also gerade dieselb als wenn man eine perspectivische Zeichnung des Objects auf der Ebene cc u die Gröfse $\gamma_0 \gamma_1$ verschöbe. Denken wir uns die Projectionsebene cc im Brennpunkt der Linse, machen wir also $A = p$, so wird $\gamma_0 \gamma_1 = \alpha$, also gleich der wirkliche Verschiebung des Glases.

Die Erscheinungen, welche entstehen, wenn Brillengläser vor den Auge seitwärts verschoben werden, sind also dieselben, welche bei gegenseitiger Entfernun oder Näherung stereoskopischer Zeichnungen sich zeigen. Der Versuch bestäti vollkommen diese Folgerung der Theorie. Stehen die Centren der Conca brillengläser einander näher als die Augenmittelpunkte, so erscheinen die Gege stände zu nah, im andern Falle zu weit. Bei Convexbrillen ist es umgekehr weil p das entgegengesetzte Vorzeichen hat.

Es ist dieser Umstand bei der Verfertigung der Brillen[1] wohl zu beachte namentlich auch deshalb, weil eine fortgesetzte angestrengte Haltung des Aug leicht Schmerzen im Auge und im Kopfe hervorbringt. Concavbrillen, deren optisc Mittelpunkte nicht weit genug von einander entfernt sind, zwingen die Aug fortdauernd zu convergiren; sind die Mittelpunkte im Gegentheile zu weit entfern so mufs der Beobachter divergiren. Am schlimmsten ist es, wenn ein Mittelpun höher als der andere liegt. Namentlich die Nasenklemmer sind in dieser Beziehu oft falsch construirt. Wenn die optischen Mittelpunkte der Gläser in der Mit ihrer Fläche sitzen, so sind sie einander zu nah und zwingen zum dauernd Convergiren. Auch Höhenabweichungen treten leicht ein, weil der Klemmer si in der Regel nicht ganz horizontal auf dem Nasenrücken festsetzt.

Blickt man nach wirklichen Objecten durch zwei parallel gestellte Teleskop zum Beispiel Binocles, so erhält man denselben Erfolg, als wenn man d entsprechenden stereoskopischen Zeichnungen dem Auge nähert; die Gesichtswink werden für alle Theile des Bildes gleichmäfsig vergröfsert. Das entspricht nu wie wir oben für diesen Fall bei den Zeichnungen gesehen haben, einer Annäheru und Verkürzung der Tiefendimensionen des Objects ohne Veränderung seiner z Gesichtslinie senkrechten Dimensionen. Durch Binocles erscheinen also die Objec genähert, übrigens in natürlicher Gröfse, aber verflacht, als Basrelief. Das ist au an menschlichen Gesichtern deutlich zu erkennen; sie nehmen immer einen unnatü lichen, halb bildartigen Ausdruck an.

Die Theorie des Telestereoskops ergiebt sich leicht, wenn man bedenk dafs ein Beobachter die Objecte in einem Planspiegel so sieht, nur symmetris von rechts nach links umgekehrt, wie das Spiegelbild des Beobachters die wirklich Gegenstände durch das Glas des Spiegels hindurch sehen würde.

Es sei *AA Fig. 237* (S. 823) der eine, *BB* der andere Spiegel, C das Au des Beobachters. Das Auge C sieht im ersten Spiegel *BB* die Dinge so, wie d
674 Spiegelbild D dieses Auges sie durch *BB* hindurch sehen würde. Dabei mufs d Entfernung $Cb = Db$ sein. Das Spiegelbild D sieht wieder die Dinge im Spieg *AA* so, wie sie E, das von *AA* entworfene Spiegelbild, von D durch *A* hindurch sehen würde, und der Ort von E ist dadurch bestimmt, dafs E längs des reflectirten Strahls gemessen gleich Da längs des einfallenden g messen sein mufs. Daraus folgt, wie schon oben erwähnt ist, dafs das Auge

[1] Die stereoskopischen Erscheinungen, zu denen Brillengläser Veranlassung geben, sind genau untersucht von F. C. DONDERS in *Anomalies of accommodation and refraction*. London 1864. p. 152–169.

durch die zwei Spiegel die Landschaft so sieht, wie sie von E aus direct gesehen erscheinen würde. Nun ist die stereoskopische Differenz e zweier Bilder, projicirt auf eine Zeichnung in der Entfernung b, wie Gleichung 1 c) lehrt,

$$e = \frac{2Ab}{r},$$

wo $2A$ die Entfernung der beiden Gesichtspunkte bezeichnet, und r die Entfernung des Objects von der gemeinsamen verticalen Ebene beider Augen. Jene Entfernung $2A$ ist im Telestereoskop die Entfernung der beiden von je zwei Spiegeln entworfenen Spiegelbilder der Augen des Beobachters ($r_1 \varrho_1$ der *Fig. 233,* Seite 794). Setzen wir nun diesen Werth von e in die Gleichungen 3 a), so wird, wenn unendlich entfernte Punkte mit parallelen Gesichtsaxen gesehen werden:

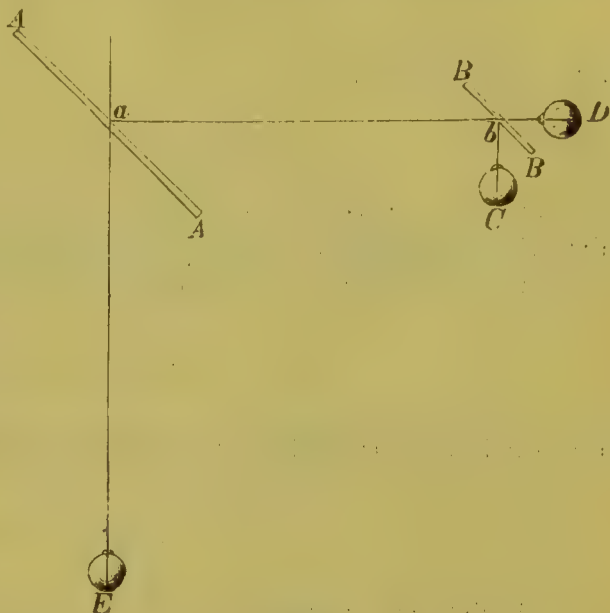


Fig. 237.

$$\alpha = \mathfrak{x}\,\frac{a}{A}\,\frac{\mathfrak{r}}{b} = \mathfrak{x}\,\frac{\varrho}{b}$$

$$\beta = v\,\frac{a}{A}\,\frac{\mathfrak{r}}{b} = v\,\frac{\varrho}{b}$$

$$\varrho = b\,\frac{a}{A}\,\frac{\mathfrak{r}}{b}.$$

Danach verhalten sich also α, β, ϱ zu einander beziehlich wie $\mathfrak{x}$, v, b, welche letzteren wir als die wirklichen Entfernungen ansehen können, aber die scheinbare Entfernung ϱ ist kleiner als r im Verhältnifs $\frac{a}{A}$, und in demselben Verhältnisse sind also auch die übrigen scheinbaren Dimensionen reducirt. Die Landschaft erscheint also dann, wie ein richtig construirtes verkleinertes Modell.

Dasselbe gilt für photographische Landschaftsbilder, wenn wir für $2A$ die Entfernung der beiden Punkte nehmen, an denen sich der Mittelpunkt des Objectivglases der *Camera obscura* bei den beiden photographischen Aufnahmen befunden hat. Bei der Anordnung des Stereoskops ist darauf zu achten, dafs unendlich entfernte Punkte der Photographien mit parallelen Gesichtslinien combinirt werden, und dafs die Abstände der Platte von dem Auge oder den Linsen des Stereoskops gleich denen der Platte in der *Camera obscura* von dem Objectivglase derselben sein müssen; sonst bekommt man ein falsches Relief. Beide Bedingungen sind gewöhnlich in den käuflichen Stereoskopen und den dazu gehörigen Bildern nicht erfüllt.

Recklinghausen's Normalfläche. Man denke sich ein rechtwinkeliges 675
Coordinatensystem, dessen Mittelpunkt im Fixationspunkte liegt, die xy Ebene in

der Visirebene; die zx Ebene sei die Medianebene des Körpers. Die Coordinate des rechten Auges seien:

$$x = a \qquad y = b \qquad z = 0,$$

die des linken Auges:

$$x = a \qquad y = -b \qquad z = 0,$$

so dafs $2b$ die Distanz der Mittelpunkte beider Augen bezeichnet, a den Abstan des Fixationspunktes von der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte.

Die Blicklinie des rechten Auges ist gegeben durch die Gleichungen

$$\frac{x}{a} - \frac{y}{b} = 0 \text{ und } z = 0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1$$

die Blicklinie des linken Auges durch die Gleichungen

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 0 \text{ und } z = 0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1\,a$$

Bildet man aus den beiden Gleichungen 1) durch Multiplication der ersten m dem constanten Factor p und Addition der zweiten die neue Gleichung

$$p\left(\frac{x}{a} - \frac{y}{b}\right) + z = 0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1\,b$$

so ist dies die Gleichung einer Ebene, die durch die rechte Blicklinie geht, de für alle Punkte dieser Blicklinie sind die beiden Gleichungen 1), folglich auch 1 erfüllt. Nach bekannten Sätzen ist der Cosinus des Winkels α, den die Norma dieser Ebene mit der z Axe, oder die Ebene selbst mit der Visirebene, $z =$ macht, gegeben durch die Gleichung

$$\cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{p^2}{a^2} + \frac{p^2}{b^2}}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1\,c$$

Bilden wir entsprechend aus den Gleichungen 1 a) die neue

$$-p\left(\frac{x}{a} + \frac{y}{b}\right) + z = 0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1\,c$$

so geht diese durch die linke Blicklinie, und der Werth von $\cos\alpha$ ist für s derselbe, wie in 1 c).

Aus 1c) folgt

$$p = \frac{\operatorname{tang}\alpha}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}}}$$

oder wenn wir setzen

$$a = r\cos\gamma, \qquad b = r\sin\gamma,$$

wo γ der halbe Convergenzwinkel, und r die Entfernung jedes Auges vom Fixationspunkte ist:

$$p = r \operatorname{tang} \alpha \quad \sin \gamma \,.\, \cos \gamma,$$

wonach die Gleichungen 1 b) und 1 d) werden: 676

$$(x \sin \gamma - y \cos \gamma) \operatorname{tang} \alpha + z = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1\,\text{b}).$$

$$- (x \sin \gamma + y \cos \gamma) \operatorname{tang} \alpha + z = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1\,\text{d}).$$

Subtrahirt man die zweite von der ersten, so erhält man

$$x \sin \gamma = 0,$$

das heifst, die Schnittlinie der beiden Ebenen 1 b) und 1 d) liegt in der durch den Fixationspunkt, senkrecht zur Visirebene und zur Medianebene gelegten Ebene $x = 0$, welches auch der Winkel α sei. Diese Schnittlinie sei eine gesehene Linie, dann sind die beiden Ebenen 1 b) und 1 d) die Ebenen ihrer Richtungsstrahlen.

War nun die bisher betrachtete Stellung der Augen eine ohne Raddrehung, so können wir übergehen zu einer Stellung mit Raddrehung, indem wir in 1 b) den Winkel α und δ vergröfsern, in 1 d) um ebenso viel verkleinern. Dann bekommen wir für die neue Lage beider Ebenen:

$$\operatorname{tang} (\alpha + \delta) = \frac{z}{y \cos \gamma - x \sin \gamma}$$

$$\operatorname{tang} (\alpha - \delta) = \frac{z}{y \cos \gamma + x \sin \gamma}.$$

Bilden wir hieraus die Tangente der Differenz beider Winkel, so erhalten wir:

$$\operatorname{tang} (2\delta) = \frac{2zx \sin \gamma}{y^2 \cos^2\gamma - x^2 \sin^2\gamma + z^2}$$

oder

$$z^2 + y^2 \cos^2\gamma - x^2 \sin^2\gamma - 2\,zx \sin \gamma \,.\, \operatorname{cotang} (2\delta) = 0 \quad . \quad . \quad 2),$$

welches die Gleichung eines Kegels ist, dessen Spitze im Mittelpunkt der Coordinaten liegt. Aus der Gleichung 2) erhellt nähmlich, dafs wenn x, y, z Werthe sind, die der Gleichung 2) genügen, auch nx, ny und nz genügen; daraus folgt, dafs jede durch einen Punkt der Fläche 2) und den Anfangspunkt der Coordinaten gezogene gerade Linie ganz in der Fläche 2) liegt, dafs diese also ein Kegel ist.

Die in den Gleichungen 1) und 1 a) angegebenen Werthe der Coordinaten für die Blicklinien genügen ebenfalls der Gleichung 2). Die Kegelfläche geht also durch die Blicklinien.

Da nun nach den oben aufgestellten Grundsätzen bei medianem Fixationspunkte die Gesichtsbilder so ausgelegt werden, als wäre keine Raddrehung erfolgt, so

werden das vor der Drehung in der Ebene $x = 0$ gezogene Strahlenbündel un das auf dem Kegel der Gleichung 2) gelegene nicht unterschieden werden, ur das Strahlenbündel wird also eben oder kegelförmig erscheinen, je nachdem in d ersten oder zweiten Stellung der Augen die Netzhauthorizonte mit der Visirebe zusammenfallen.

Dabei ist noch zu bemerken, dafs diejenigen Kanten des Kegels, welche d Blicklinien sehr nahe kommen und also gegen die Augen des Beobachters selb hingerichtet erscheinen müfsten, ein zu kühnes und unwahrscheinliches Relief geb und deshalb besser vermieden werden. Aufserdem ist zu bemerken, dafs diejenig Kanten der Kegelfläche, die zwischen den Augen durchgehen, in den Bildern beid Netzhäute gerade entgegengesetzte Richtung bekommen, und deshalb von ihn abzusehen ist.

Um die scheinbare Lage von Kreisen zu berechnen, deren Mittelpunkt fix wird und deren Ebene senkrecht zur Halbirungslinie des Convergenzwinkels i
677 benutzen wir den Satz, dafs, wenn die Gleichung einer Ebene in der Normalfo gegeben ist,

$$U = ax + by + cz + d$$

und

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1$$

der Ausdruck U den Abstand des Punktes (x, y, z) von der Ebene $U = 0$ b zeichnet, wobei d den Abstand des Mittelpunkts der Coordinaten von derselb Ebene anzeigt.

Bringen wir die Gleichung 1 b) auf die Form

$$x \sin\gamma \sin\alpha - y \cos\gamma \sin\alpha + z \cos\alpha = U \quad . \quad . \quad . \quad .$$

nehmen wir dazu eine zweite Ebene, die auch durch die Blicklinie geht, in c aber der Winkel α um einen Rechten gewachsen ist und die deshalb auf senkrecht steht,

$$x \sin\gamma \cos\alpha - y \cos\gamma \cos\alpha - z \sin\alpha = V \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3$$

und endlich eine dritte Ebene, die auf der Blicklinie senkrecht steht,

$$x \cos\gamma + y \sin\gamma - r = W \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3$$

so sind U, V, W rechtwinkelige Coordinaten des Punktes (x, y, z) bezogen : das System dieser drei Ebenen und

$$\frac{1}{m^2} U^2 + \frac{1}{n^2} V^2 = W^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

ist die Gleichung eines Kegels zweiten Grades, der seine Spitze im Mittelpun des rechten Auges hat und dessen drei Hauptaxen in den Schnittlinien der Eben

$$U = 0, \qquad V = 0, \qquad W = 0$$

liegen.

Die Schnittlinie des Kegels 3 c) mit der Ebene, $x = 0$, ist gegeben durch die Gleichung

$$y^2 \cos^2\gamma \left\{\frac{\sin^2\alpha}{m^2} + \frac{\cos^2\alpha}{n^2}\right\} + z^2 \left\{\frac{\cos^2\alpha}{m^2} + \frac{\sin^2\alpha}{n^2}\right\}$$

$$+ 2yz \cos\gamma \cos\alpha \sin\alpha \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

$$= y^2 \sin^2\gamma - 2ry \sin\gamma + r^2.$$

Wenn wir nun verlangen, dafs bei derjenigen Raddrehung des Auges, wo $\alpha = 0$, diese Schnittlinie ein Kreis sei, mufs sein

$$\frac{\cos^2\gamma}{n^2} - \sin^2\gamma = \frac{1}{m^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3\text{ d)}.$$

Für symmetrische Stellungen des andern Auges mufs gleichzeitig γ und α negativ genommen werden. Setzen wir also

$$x \sin\gamma \sin\alpha + y \cos\gamma \sin\alpha + z \cos\alpha = U'$$

$$- x \sin\gamma \cos\alpha - y \cos\gamma \cos\alpha + z \sin\alpha = V'$$

$$x \cos\gamma - y \sin\gamma - r = W'$$

so ist 678

$$\frac{1}{m^2} U'^2 + \frac{1}{n^2} V'^2 = W'^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3\text{ e)}$$

die Gleichung eines entsprechenden Kegels, dessen Axe die Blicklinie des zweiten Auges ist, dessen Spitze im Mittelpunkte dieses Auges liegt, und der, wenn $\alpha = 0$ gemacht wird, die Ebene $x = 0$ und die ihr parallelen Ebenen ebenfalls in einem Kreise schneidet, wie der Kegel 3 c).

Ist nun die Stellung der Augen $\alpha = 0$ eine mit Raddrehung verbundene Stellung derselben, und die Schnittlinie der beiden Kegel ein objectiv vorhandener Kreis, so wird das Netzhautbild nach den oben gegebenen Regeln so gedeutet, als wären dieselben Netzhautbilder ohne Raddrehung erhalten worden. Das scheinbar vorhandene Object mufs also eine Schnittlinie der Kegel 3 c) und 3 e) sein. Wenn wir deren Gleichungen von einander subtrahiren, so bleiben nur diejenigen Glieder stehen, welche in beiden verschiedenes Vorzeichen haben, diese sind:

$$- \frac{1}{m^2} y \cos\gamma \sin\alpha \,(x \sin\gamma \sin\alpha + z \cos\alpha)$$

$$- \frac{1}{n^2} y \cos\gamma \cos\alpha \,(x \sin\gamma \cos\alpha - z \sin\alpha)$$

$$= y \sin\gamma \,(x \cos\gamma - r).$$

Diese Gleichung wird erfüllt, wenn entweder

$$y = 0$$

oder

$$x \sin\gamma \cos\gamma \left[\frac{\sin^2\alpha}{m^2} + \frac{\cos^2\alpha}{n^2} + 1\right] + z \cos\gamma \cos\alpha \sin\alpha \left[\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right] = r \sin$$

Die erste Schnittlinie läge also in der Medianebene, und wird sich nicht lei als Object darstellen, die Ebene der zweiten wird mit Berücksichtigung d Gleichung 3 d)

$$x\,(1 - \sin^2\alpha \sin^2\gamma) - z \sin\gamma \sin\alpha \cos\alpha = \frac{r n^2}{(n^2+1)\cos\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad 3$$

Für den Fall, dafs $\alpha = 0$, wird diese Gleichung

$$x = \frac{r n^2}{(n^2+1)\cos\gamma} = x_0.$$

Die Schnittlinie der beiden Kegel liegt also in diesem Falle in der Entfernu x_0 vor der Ebene, $x = 0$, in einer dieser parallelen Ebene, und ist ein Kre Wenn α nicht gleich Null ist, ist die Ebene der Schnittlinie geneigt gegen Ebene $x = 0$ um einen Winkel η, dessen Tangente ist

$$\operatorname{tang} \eta = \frac{\sin\gamma \sin\alpha \cos\alpha}{1 - \sin^2\gamma \sin^2\alpha}$$

und sie schneidet die Visirebene $z = 0$ in der Linie

$$x = \frac{x_0}{1 - \sin^2\alpha \sin^2\gamma},$$

also etwas entfernter vom Auge, als vorher. Die Schnittlinie ist in diesem Fa eine Ellipse.

679 Die nahehin verticalen Axenebenen der beiden Kegel

$$V = 0 \text{ und } V' = 0$$

schneiden sich in der geraden Linie, deren Gleichungen sind

$$\left.\begin{aligned} x \sin\gamma &= y \operatorname{tang}\alpha \\ y &= 0 \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

für $\alpha = 0$ werden die Gleichungen dieser Linie

$$x = 0, \qquad z = 0.$$

Eine zur Visirebene senkrechte Linie erscheint also bei der Raddrehung beider Augen gegen die Ebene $x = 0$ geneigt unter dem Winkel η', dessen T gente ist

$$\operatorname{tang} \eta' = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha \,.\, \sin\gamma}.$$

Wenn nun die Winkel α und γ, wie dies bei den praktisch ausführba Versuchen immer der Fall sein wird, klein sind, so ist

$$\operatorname{tang} \eta' > \operatorname{tang} \eta.$$

Der senkrechte Durchmesser des Kreises erscheint also stärker gegen die Ebene $x = 0$ geneigt, als die Ebene des Kreises, und daher scheint er sich vom Kreise zu lösen, wie dies RECKLINGHAUSEN beobachtet hat. Da gerade die horizontal verlaufenden Theile der Kreislinie nur eine sehr unbestimmte binoculare Localisation geben, so kann der Kreis auch verbogen erscheinen, wo der Durchmesser ihn schneidet, ohne sich von ihm zu lösen.

Betrachtet man nicht einen Kreis, sondern Ellipsen, so findet die Gleichung 3 d) nicht statt, und man findet, dafs Ellipsen mit längerer verticaler Axe sich im Sinne einer verticalen Linie neigen müssen, dieser desto näher kommend, je schmaler sie sind. Ellipsen dagegen mit längerer horizontaler Axe neigen sich entgegengesetzt, auch um so stärker, je schmaler sie sind.

Abänderung des Linsenstereoskops von HELMHOLTZ. Da die Entfernung entsprechender Punkte in den gewöhnlichen photographischen Stereoskopenbildern nicht immer gleich der der Augen ist, sie zuweilen auch verschiedene Höhe über der Grundlinie haben, so mufs man, um eine möglichst natürliche Projection der Objecte zu erreichen, das Instrument jedem Bilde adaptiren können. In einem Stereoskop, was ich von OERTLING in Berlin erhalten hatte, war dies in einfachster Weise dadurch erreicht, dafs zwei prismatische Linsen in zwei cylindrischen, drehbaren Röhren safsen. Je nachdem man den brechenden Winkel der Prismen mehr nach einwärts oder nach auswärts stellte, konnte man eine gröfsere oder geringere Convergenz der Augen hervorbringen und auch Höhenunterschiede corrigiren. In anderer Weise, wobei die Einstellung leichter wird und die Unregelmäfsigkeiten der Brechung in prismatischen Gläsern möglichst klein bleiben, habe ich denselben Zweck erreicht in dem in *Fig. 238* perspectivisch und in *Fig. 239* (S. 830) im Querschnitt in $^2/_5$ der natürlichen Gröfse dargestellten Instrumente. Der Zweck desselben ist namentlich auch stärkere Vergröfserungen anwenden zu können, als die gewöhnlichen Stereoskope geben, wobei man einen dem natürlichen noch mehr entsprechenden Eindruck erreicht. Doch ist zu bemerken, dafs fast nur Photographien auf Glas eine solche stärkere Vergröfserung ertragen. Der Kasten ist ähnlich dem des Stereoskops von BREWSTER mit prismatischen Linsen eingerichtet; durch die Schlitze parallel der Bodenplatte A, welche selbst gröfstentheils durch eine plattgeschliffene Glasplatte gebildet ist, wird das Bild eingeschoben. Der Beschauer blickt durch die beiden cylindrischen Röhren B_0 B_1, welche nur centrirte Con- 680
vexlinsen, nicht Prismen[1], enthalten, darauf hin. Beide Röhren enthalten zunächst dem Auge eine Linse von Centimeter Brennweite und gegen ihr unteres Ende hin eine solche von 18 Centimeter Brennweite. Die letztere kann ausgeschraubt werden, wenn man nur die gewöhn-

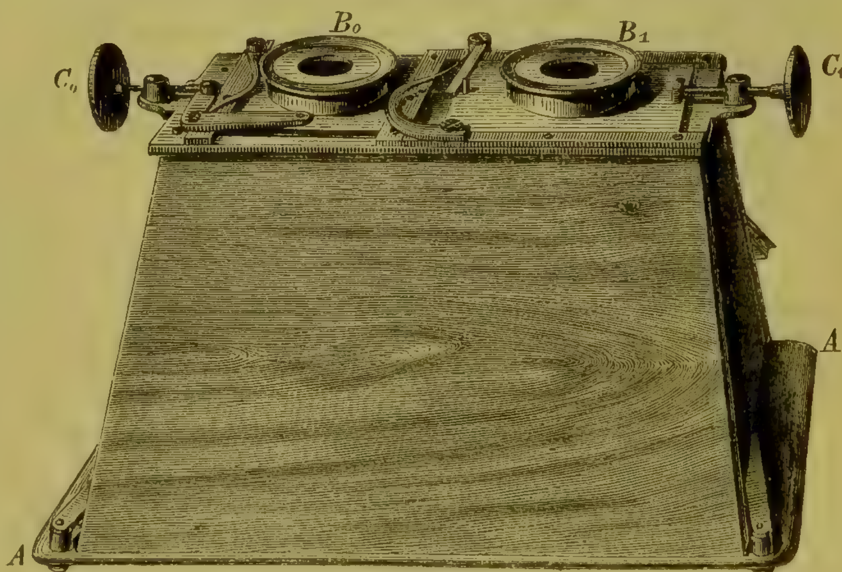


Fig. 238.

[1] Auch CLAUDET hat bemerkt (*Proc. Royal Soc.* VIII, 104—110), dafs es richtiger ist und natürlichere Bilder giebt, wenn man Landschaftsbilder durch Linsen mit parallelen Gesichtslinien combinirt.

liche Vergröſserung der Stereoskope zu haben wünscht, bei welcher aber die Bilder (Lan schaften) meist kleiner erscheinen als das wirkliche Object dem unbewaffneten Auge vo dem betreffenden Standpunkte aus erscheinen würde. Jede der Röhren B_0 und B_1 sitzt einem zwischen Schienen verschiebbaren rechtwinkeligen Schlitten, sodaſs B_0 in der Richtur von oben nach unte (beziehlich zum Beobacl ter), B_1 dagegen vo rechts nach links verstel werden kann durch Dr hung der Schrauben und C_1. In *Fig.* 2 ist dargestellt, wie d Schrauben auf die Schli ten wirken, C_1 unmitte bar, C_0 mittels ein Winkelhebels.

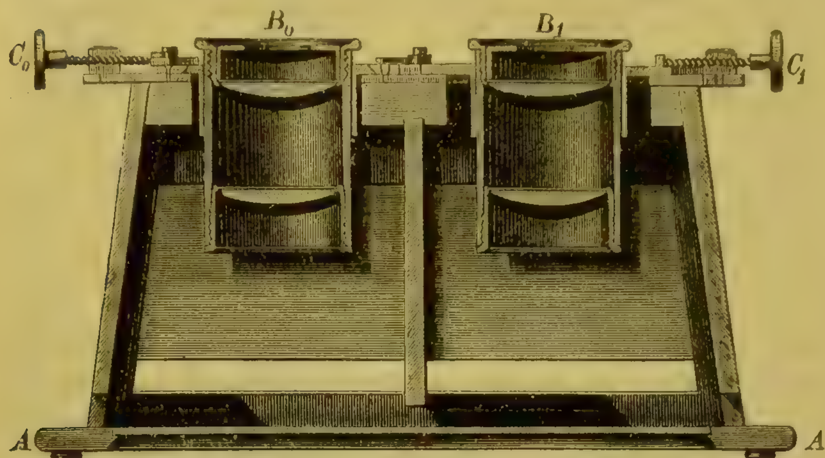


Fig. 239.

Ich pflege die Röhre erst so weit herausz ziehen, bis das phot graphische Bild im Bren punkte der Concavlinsen steht, was sich leicht erkennen läſst, wenn man von unte auf die matte Glasplatte blickt und das Bild entfernter heller Objecte auf der Fläcl der stereoskopischen Darstellung auffängt. Ist der Beschauer kurzsichtig, so lasse ic ihn lieber durch die ihm gewöhnte Brille hineinsehen. Dadurch daſs man das Bild den Brennpunkt der Linsen bringt, hat man den Vortheil, daſs es erstens auch bei B wegungen des Kopfes vor den Gläsern wie ein unendlich entferntes Object erschein zweitens daſs die Deckung der Bilder auch nicht gestört wird, wenn der Beobacht den Kopf nach der Seite neigt. Namentlich also, wenn man das Stereoskop fest aufstel und den Beschauer davor treten läſst, um hindurchzusehen, so erhält er, was die Forme betrifft, in allen Beziehungen denselben optischen Eindruck, als blickte er nach de entfernten reellen Objecten. Die Schrauben C_0 und C_1 werden dann gebraucht, um de Stand der beiden optischen Bilder zu corrigiren. Indem ich meine Augen etwas conve giren lasse, erzeuge ich Doppelbilder von irgend einem hell hervortretenden Object und sehe zu, ob diese gleich hoch neben einander stehen; wenn nicht, so corrigire ic mit der Schraube C_0 so lange, bis dies der Fall ist. Die Einstellung in den Brennpunl
681 kann man dann noch genauer controlliren, wenn man seitliche Neigungen des Kopf macht. Um annähernd die richtige Convergenz hervorzubringen, gehe ich mit de Kopfe etwas zurück von den Gläsern, blicke über das Stereoskop fort nach wirkliche Gegenständen und vergleiche deren Entfernung mit der scheinbaren der Objecte i Stereoskop. Danach läſst sich dann mittels der Schraube C_1 leicht die nöthige Corre tion machen.

Die Objecte erscheinen durch ein solches Instrument gesehen bei richtiger Ei stellung nicht nur viel gröſser und viel entfernter, sondern auch körperlicher als durc die gewöhnlichen Instrumente, welche fast immer zu starke Convergenz verlangen un deshalb die Gegenstände als Basreliefs erscheinen lassen. Man hat auch den sehr wesen lichen Vortheil, daſs man die sonst so leicht eintretende Ermüdung und Schmerzhaftigke der Augen hierbei gänzlich vermeiden kann.

Auſser dem schon genannten Spiegelstereoskop von Wheatstone, dem Linsen stereoskop von Brewster in seinen verschiedenen Modificationen, dem Pseudosko welches auch gebraucht werden kann, um je zwei Zeichnungen mit einander zur Deckun zu bringen, können auch stereoskopische Wirkungen mit nur einer Zeichnung un einem Prisma erzeugt werden.[1] Wenn die Zeichnung nämlich einen zur Medianeben

---

[1] Dove, *Poggend. Ann.* LXXXIII. 183. *Berliner Monatsberichte.* 1850, p. 152. Brewster *Phil. Ma* (4) III, 16—26. *Rep. of Brit. Assoc.* 1849, 2, p. 5.

des Beschauers symmetrisch gebildeten Gegenstand darstellt, so wie er vom rechten Auge gesehen wird, so würde die entsprechende Ansicht des linken Auges ihr symmetrisch oder ihrem Spiegelbilde congruent sein. Statt der zweiten Zeichnung kann man also auch wirklich ein Spiegelbild der ersten setzen, indem man mit dem linken Auge durch ein rechtwinkeliges Glasprisma parallel dessen Hypotenusenfläche hindurchsieht, wobei, wie mehrfach schon erwähnt ist, der Beschauer ein in der Hypotenusenfläche durch totale Reflexion entworfenes Spiegelbild des Objectes sieht. Das rechte Auge blickt inzwischen direct nach der Zeichnung. Wenn man die Bilder beider Augen zum Decken bringt, sieht man das körperliche Relief. Nimmt man das Prisma vor das linke Auge, so sieht man das umgekehrte Relief. Man kann auf diese Weise oft Zeichnungen zu stereoskopischen Effecten benutzen, die gar nicht dazu bestimmt sind, wie zum Beispiel photographische Porträts, welche von vorn mit einer sehr kleinen Abweichung nach einer Seite hin aufgenommen worden sind.

Aehnliche stereoskopische Effecte erreichte Dove[1], indem er nach einer passenden Zeichnung mit einem astronomischen und einem Galilei'schen Fernrohr von gleicher Vergröfserung hinsah. Ersteres kehrt die Zeichnung um, letzteres nicht. Man kann hierzu dieselben Zeichnungen brauchen, wie für das einfache Prismenstereoskop, nur mufs die obere Hälfte des dargestellten Körpers auch mit der untern symmetrisch sein.

Das einfache Telestereoskop ohne Vergröfserung habe ich oben beschrieben; ich habe ein ähnliches Instrument mit zwei Fernröhren construiren lassen, mit welchem man entfernte Gegenstände in ihrer körperlichen Form stereoskopisch sehen kann. Der optische Theil des Instruments ist dargestellt in Fig. 240, bei der in der untern Hälfte, zwischen n_1 und h_1 h_1 ein Stück des Rohres ausgelasssen ist, damit die Figur auf der Seite Platz findet. Man mufs die Figur sich so ergänzt denken, dafs in der unteren Hälfte die Entfernung zwischen n_1 und h_1 h_1 ebenso grofs ist, wie in der oberen Hälfte die Entfernung zwischen n und h h. Das Licht, was von den Objecten kommt, wird zunächst aufgefangen durch die beiden ebenen Spiegel a a und a_1 a_1. Diese Spiegel müssen aber von der gröfsten Vollendung sein, weil sie sonst bei der Vergröfserung durch die Fernröhre verzerrte Bilder geben. Durch drei Schrauben werden sie gegen die Platte k und k' angezogen, während zwischen ihnen und der Platte Federn liegen, die sie so weit entfernen, als die Schrauben es zulassen. Mittels der Schrauben kann man die Stellung der Spiegel so weit abändern, dafs die Bilder beider Seiten zusammenfallen. Die Objectivlinsen der Fernröhre liegen bei c und c'. Sie sind in Röhren eingesetzt, welche mittels der gezahnten Triebe i und i', die in gezahnte Stangen h und h' eingreifen, hin und hergeschoben werden können, um die Focaldistanz des Fernrohrs reguliren zu können. Zwei Ocularlinsen eines terrestrischen Oculars liegen bei d und e. Dann fällt das Licht auf das Prisma b, um in den Seitenröhren auf die dritte und vierte Ocularlinse g zu fallen. Das Prisma b kann mittels der in den dahinter liegenden

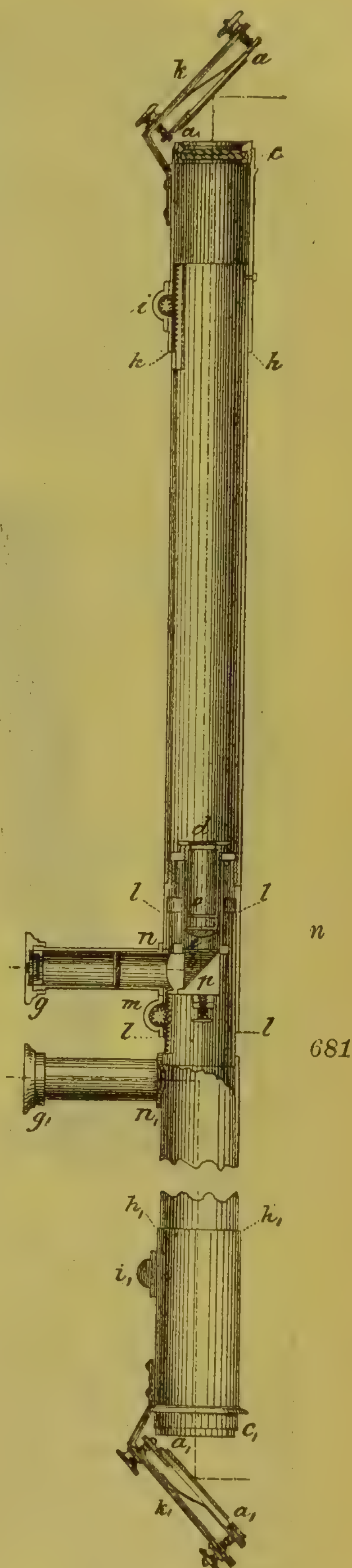


Fig. 240.

[1] Dove, *Poggend. Ann.* LXXX. 446. *Berliner Monatsberichte* 1850, p. 152.

682 Metallklotz *p* eingreifenden Schraube verschoben werden, um die optische Axe der beide Theile des Fernrohrs in Uebereinstimmung zu setzen. Endlich dient der gezahnte Trieb *i* dazu, die beiden Ocularröhren mit den ganzen Fernröhren von einander zu entfernen ode einander zu nähern, um sie der Augendistanz des Beobachters anzupassen.

Da die Entfernung der Spiegel an dem Instrumente 1080 Millimeter beträgt, so i sie 16 mal gröfser als die der menschlichen Augen, und die stereoskopischen Unterschied werden also 16 mal gröfser, als für die unbewaffneten Augen. Da die Vergröfserung auch ein sechszehnmalige ist, so ist die Wirkung des Instruments die, als sähe man das Object m unbewaffneten Augen aus einer sechszehnmal kleineren Entfernung, als man es wirklich sieh

Den entgegengesetzten Effect von dem telestereoskopischen erhält man nach einer Be merkung von Oppel,[1] wenn man zwei einander congruente Körper in der Entfernung der Auge von einander, beide gleich gerichtet, aufstellt und mit parallelen Gesichtslinien betrachte

Stereoskopisches Mikroskop. Ein solches nach Nachet's Constructio ist dargestellt in *Fig. 241.* Bei *a* ist das Objectivlinsensystem. Das durchtretend Strahlenbündel trifft zunächst auf das kleine reflectirend Glasprisma bei *b*, die eine Hälfte des Strahlenbünde geht an diesem vorbei und durch das Rohr *E* zu Ocular *e*, um in das eine Auge des Beobachters z fallen. Die andere Hälfte des Strahlenbündels dagege welche in das beinahe rechtwinkelige Prisma *b* eintrit wird von dessen Hypotenusenfläche reflectirt und gege das zweite Prisma *c* hin geworfen, um hier noch einm reflectirt zu werden in das Rohr *F* hinein und zu Ocular *f*, durch welches es in das andere Auge de Beobachters fällt. Mittels der Schraube *g* kann da ganze Rohr *F* mit dem Prisma *c* dem Rohre *E* genähe oder von ihm entfernt werden, um das Instrument de Abstande der beiden Augen des jedesmaligen Beobachte anzupassen. Da die Lichtbündel, welche aus den Oc laren *e* und *f* austreten, sehr schmal sind, so mufs ih Entfernung der der Pupillen genau gleich sein, dam beide Augen ein Bild empfangen. In den englische Instrumenten ähnlicher Art sind beide Röhren fest ve bunden, und die Accommodation für die Augendista des Beobachters wird dadurch erreicht, dafs man d Ocularstücke der Röhren mehr oder weniger herauszieh

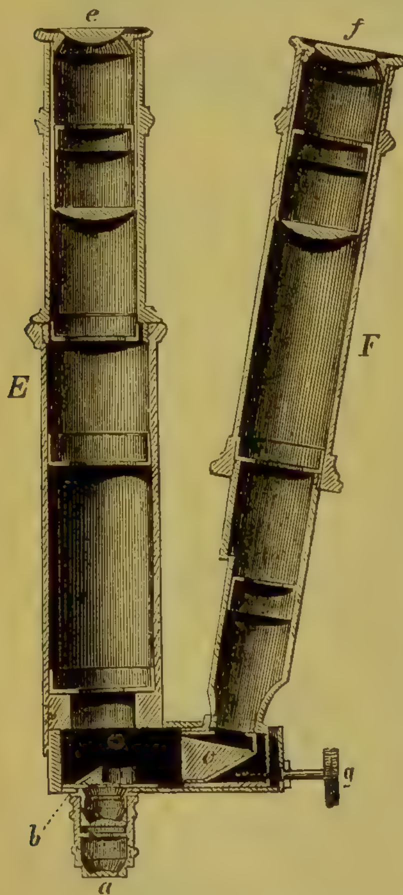


Fig. 241.

Die stereoskopische Wirkung bei diesen Instr menten ist sehr auffallend und erleichtert die Beobac tung von Objecten verwickelterer Form aufserordentlic Sie kommt vermittels ganz anderer Umstände zu Stan als in den übrigen stereoskopischen Instrumenten. W haben in diesem Falle nämlich keine von zwei ve schiedenen Standpunkten aus aufgenommenen Bild des Objects, da das eine Objectivlinsensystem des Mikroskops die beiden Bilder für bei Augen entwirft und nur die eine Hälfte des Lichts an das eine Auge, die andere das andere vertheilt wird. Eine stereoskopische Wirkung kommt hier nur deshalb Stande, weil allein die Punkte der Focalebene des Mikroskops ein punktförmiges Bi geben; alle Punkte aber, die vor oder hinter der Focalebene liegen, geben klei Zerstreuungskreise, und wegen der Halbirung des Strahlenbündels fällt die eine Häl eines jeden Zerstreuungskreises in das rechte, die andere in das linke Auge. Da n die rechte Hälfte des Zerstreuungskreises anders liegt als die linke, so kommt dadur eine stereoskopische Wirkung zu Stande.

---

[1] Oppel, *Jahresbericht des Frankfurter Vereins* 1858—59, p. 64—75.

Nach den auf Seite 77 bis 80 gegebenen Regeln können die Hauptpunkte und Brennpunkte des ganzen optischen Systems eines Mikroskops leicht gefunden werden. Der erste Hauptpunkt liegt unterhalb des Objectivglases, der erste Brennpunkt ebenfalls, aber dem Objectiv näher. Der zweite Haupt- und Brennpunkt liegen oberhalb des Oculars, und zwar wieder der Brennpunkt diesem näher. Das Auge des Beobachters können wir uns im zweiten Brennpunkte befindlich denken und p die Brennweite des ganzen Systems nennen. Sind nun f und φ die Entfernungen beziehlich des Objects vom ersten Brennpunkte nach oben und des Bildes vom zweiten Brennpunkte nach unten, so ist nach S. 70 Gleichung 7 b) *683*

$$\varphi = \frac{p^2}{f}.$$

Bezeichnet b die Gröfse des Objects, β die seines Bildes, so ist

$$\frac{\beta}{b} = \frac{p-\varphi}{f-p} = \frac{p}{f} = \frac{\varphi}{p}.$$

Denken wir uns nun das Auge accommodirt für das Bild β, und vor oder hinter em Gegenstande b noch ein anderes Object b', welches, da jenes erste durchsichtig ist, nit ihm zugleich gesehen werden kann, und dessen Entfernung vom Brennpunkte f' ein mag, so ist die Entfernung seines Bildes vom Auge und vom zweiten Brennpunkte

$$\varphi' = \frac{p^2}{f'},$$

oraus folgt

$$\varphi' - \varphi = p^2 \cdot \frac{f-f'}{f \cdot f'}.$$

Der Winkel, unter dem die Strahlen vom Bilde b aus in das Objectivglas fallen, i a, der zugehörige Divergenzwinkel der Strahlen des Bildes β sei α, so ist nach eite 71, Gleichung 7 d) und Seite 75, Gleichung 9)

$$b \text{ tang } a = \beta \text{ tang } \alpha$$

der

$$\text{tang } \alpha = \frac{f}{p} \text{ tang } a$$

d ebenso für die Bilder b' und β' nebst den zugehörigen Divergenzen der Strahlen a d α' ist

$$\text{tang } \alpha' = \frac{f'}{p} \text{ tang } a'.$$

Der Radius ϱ des Zerstreuungskreises in der Ebene des Bildes β, für welche das ge accommodirt ist, ist, wie leicht ersichtlich,

$$\varrho = (\varphi' - \varphi) \text{ tang } \alpha' = \frac{p}{f}(f - f') \text{ tang } a'.$$

Da nur Gegenstände beobachtet werden können, für welche der Zerstreuungskreis r klein ist, also $\varphi' - \varphi$ und $f' - f$ sehr klein sind, so kann die Veränderlichkeit Winkels a' für verschiedene sichtbare Objecte und sein Unterschied vom Winkel a rnachlässigt werden, und wir können deshalb unter dieser Beschränkung die letzte eichung schreiben

$$\varrho = \frac{p \text{ tang } a}{f} \cdot (f - f').$$

Nun fällt von diesem Zerstreuungskreise bei der beschriebenen Einrichtung d(stereoskopischen Mikroskopes die eine Hälfte in das rechte, die andere in das linl Auge. Dadurch wird jede zur Visirebene verticale Linie des Bildes, sei sie nun isoli gezogen oder Theil einer gleichmäfsig gefärbten Fläche, verwandelt in einen Streif(
684 von der Breite ϱ, so dafs die Verbreiterung in dem einen Bilde nach rechts hin, i anderen nach links hin geschieht. Zwei solche Streifen haben also in den beiden Bilder eine stereoskopische Parallaxe gleich ϱ im Vergleich mit den Punkten der Focaleben

Ist f' kleiner als f, liegt also das Object weiter vom Objectivglase als diejenig(Punkte, für deren Bild das Auge accommodirt ist, so ist φ' gröfser als φ, das heil das Bild von b' liegt unterhalb des Bildes von b, und in der Ebene von b sind d Strahlen des Bildes b' schon gekreuzt. Dann fällt die rechte Hälfte des Zerstreuung kreises in das rechte Auge des Beobachters, die linke in das linke Auge, die stere skopische Parallaxe ist also negativ, verglichen mit der des Bildes b, und b' schein wie es wirklich liegt, hinter b zu liegen. Dabei gelangt die eine Hälfte des Zerstreuung kreises durch doppelte Spiegelung in das entsprechende Auge des Beobachters u erscheint deshalb nicht von rechts nach links verkehrt, sondern in natürlicher Lage.

Umgekehrt verhält sich alles, wenn das Object b' oberhalb b liegt.

In den Instrumenten von NACHET kann man den Schieber, der die Prismen enthä so weit hervorziehen, dafs das kleine Glasprisma b der *Fig. 240* vor die andere (rech Hälfte der Oeffnung tritt, dann erhält man einen pseudoskopischen Effect; was Wirklichkeit unten liegt, erscheint dann oben.

Aehnlich wirkt der binoculare Augenspiegel, welcher in *Fig. 242* na NACHET's Construction abgebildet ist. A ist ein Concavspiegel von Glas, von dess

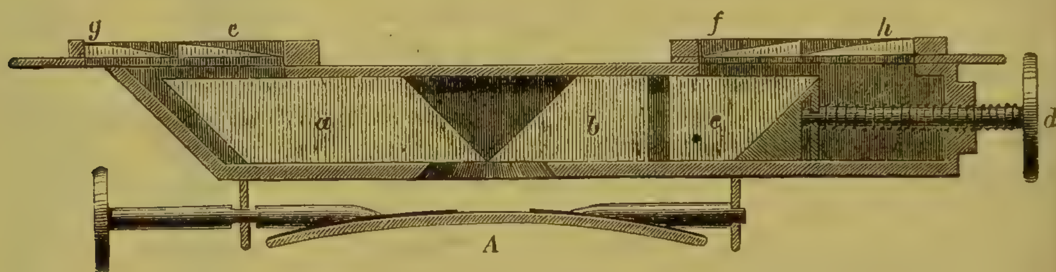


Fig. 242.

Mitte die Belegung weggenommen ist. Die vordere und hintere Fläche des Glases hat gleiche Krümmung, so dafs es die Strahlen ungebrochen durchgehen läfst. Der Spie dient zur Beleuchtung des zu beobachtenden Auges. Zwischen ihn und das Auge w eine Convexlinse gehalten, deren reelles umgekehrtes Bild der Beobachter betracht wie in dem auf Seite 218 *Fig. 110* schematisch dargestellten Versuche. Das Licht, welc vom beobachteten Auge kommt, theilt sich hinter der Oeffnung, indem es auf beiden reflectirenden Prismen a und b fällt. Das Prisma a hat einen parallelogram tischen Querschnitt; zwei seiner Winkel sind gleich halben Rechten. Die Prisme und c zusammengenommen bilden ein Prisma von derselben Gestalt, wie a, welc aber quer durchschnitten ist, damit man den Theil c mittels der Schraube d dem and Theil b nähern und davon entfernen kann. Dadurch wird das Instrument der Aug distanz des Beobachters angepafst. Die Strahlen, welche durch die mittlere Oeffn zuerst rechtwinkelig in die vordere Fläche des Prisma a eingetreten sind, werden da von der kleinen Seite des Parallelogramms gegen die zweite nach aufsen gekehrte kle Seite reflectirt, und von dieser letztern zum zweiten Male reflectirt gegen die Oeffn e hin, und treten durch diese aus in das eine Auge des Beobachters. Die zweite Häl der Strahlen, welche in das Prisma b eintreten, werden ebenso von dessen geneig Fläche gegen die geneigte Fläche von c reflectirt, und von dieser gegen die Oeffnung hin, um in das zweite Auge des Beobachters zu fallen. In die Oeffnungen e und

sind schwach brechende Prismen eingesetzt, damit der Beobachter mit schwach convergenten Blicklinien das gemeinsame Bild betrachten kann. Die Prismen sitzen in je einem Schieberchen, welches aufserdem noch zwei andere Prismen mit convexen Flächen enthält, die, wenn sie vorgeschoben werden, zugleich vergröfsernd wirken.

Die vortheilhafteste Stellung der Convexlinse, durch welche man beobachtet, ist, wenn sie ein Bild der Pupille des beobachteten Auges auf die Oeffnung des Spiegels wirft, wie auf Seite 218—221 erörtert ist. Unter diesen Umständen fällt das Licht, *685*
was durch die rechte Hälfte der Pupille kommt, in das links gelegene Prisma *a*, und das von der linken Seite der Pupille kommende in das rechts gelegene Prisma *b*. Das rechte Auge des Beobachters sieht also den Hintergrund des beobachteten Auges, wie er von der linken Hälfte der Pupille aus erscheint, das linke Auge, wie er von ihrer rechten Hälfte aus erscheint. Da das Bild übrigens auch verkehrt ist, so giebt dies einen richtigen stereoskopischen Effect, der sehr merklich und für die medicinische Beobachtung des Augenhintergrundes sehr nützlich ist.

Schliefslich will ich hier noch die eigenthümliche Methode der Stereoskopie von Rollmann[1] erwähnen. Er zeichnet beide Projectionen auf dieselbe schwarze Tafel, die eine mit rothen Linien, die andere mit blauen. Dann nimmt er vor das eine Auge ein rothes Glas, vor das andere ein blaues und sieht nun mit jenem nur die rothen Linien, mit diesem nur die blauen, die sich dann zum Relief verbinden lassen. Wenn man blaue und rothe Gläser vertheilt, kann man eine solche Zeichnung vielen Personen zu gleicher Zeit zeigen. J. C. d'Almeida entwirft die betreffenden Bilder mittels zweier Linsen, vor deren eine ein rothes, vor die andere ein grünes Glas eingeschaltet ist, auf einen Schirm.

Es können übrigens die verschiedenartigsten brechenden und spiegelnden Apparate gebraucht werden, um die für stereoskopische Zwecke gewünschte Verschiebung der Bilder hervorzubringen, wobei bald beide, bald nur ein Bild verschoben wird. Wie Wheatstone ursprünglich zwei Planspiegel benutzt hat, so hat Brewster[2] ein ähnliches mit zwei Spiegeln, ein anderes mit einem Spiegel, das letztere entweder mit einer oder zwei Zeichnungen beschrieben. Statt der Spiegel können auch, wie Dove[3] und Brewster vorgeschlagen haben, total reflectirende Prismen, eines oder zwei, im letzteren Falle wieder je eines vor ein Auge, oder beide zum Reversionsprisma verbunden, vor ein Auge gestellt, gebraucht werden. Ebenso genügt ein schwach brechendes Prisma mit ebenen Flächen, um eines der Bilder bis zur Deckung mit dem andern zu verschieben. E. Wilde[4] brauchte zu demselben Zweck das doppelt reflectirende Prisma einer *Camera lucida*.

Um ohne Ablenkung der Lichtstrahlen die Combination stereoskopischer Bilder zu erzielen, schlägt Brewster vor, vor sie eine Glasplatte mit einem schwarzen Fleckchen, welches man fixirt, in passender Entfernung zu halten. Faye[5] wendet einen Schirm mit zwei Löchern an, so dafs jedes Auge nur die zugehörige Zeichnung sieht, Elliot[6] zwei gekreuzte Röhren, durch die das rechte Auge das linke Bild sieht und umgekehrt. Zu bemerken ist, dafs wegen der Schwierigkeit die passende Accommodation herzustellen weitsichtige Beobachter leichter bei gekreuzten Gesichtslinien, kurzsichtige bei ungekreuzten combiniren.

J. Duboscq[7] hat prismatische Linsen in ein Opernguckerstativ gesetzt und dadurch die an der Wand hängende Doppelzeichnung betrachtet, so dafs man durch Näherung und Entfernung die Convergenz der Augenaxen verändern kann, wodurch das Relief vergröfsert oder verkleinert wird. — Um beliebig grofse Bilder zu combiniren, stellt er

---

[1] Rollmann, *Poggend. Ann.* XC, 186—187.
[2] Brewster, *Phil. Magaz.* (4) III, 16—26.
[3] Dove, *Poggend. Ann.* LXXXVIII, 183.
[4] E. Wilde, *Poggend. Ann.* LXXXV, 63—67.
[5] Faye, *Comptes rendus.* XLIII, 673—674. *Poggend. Ann.* XCIX, 641—642.
[6] Elliot, *Phil. Mag.* (4) XIII, 78.
[7] J. Duboscq, *Cosmos.* I, 97—104; 703—705.

in seinem Panoramenstereoskop die Bilder über einander und zwei, um eine horizontale Axe drehbaren, neben einander stehenden Spiegeln gegenüber. Der Beobachter blickt zwischen den Bildern oder unter ihnen hindurch nach den Spiegeln, die so gestellt sind, dafs die entsprechenden Theile der Bilder sich decken. Die Bilder können beliebig breit gemacht werden und vor den Augen des Beobachters vorbeigleiten. Eine andere Form zur Combination grofser Bilder, die dem Stereoskop von BREWSTER ähnlicher ist, mit achromatischen ebenflächigen Prismen und davon getrennten Linsen, beide verschiebbar, um Correctionen des Bildes auszuführen, hat DUBOSCQ später beschrieben.[1]

686 In das Panoramenstereoskop können statt der Bilder nun auch rotirende stroboskopische Scheiben eingesetzt werden, so dafs man die bewegten Figuren auch körperlich sieht. Diese Einrichtung giebt das Stereophantaskop oder Bioskop. Ein Instrument, was dasselbe Resultat giebt, hat CZERMAK[2] unter dem Namen Stereophoroskop beschrieben. Er wählte dazu das gewöhnliche Linsenstereoskop, für welches beide Bilder auf einen und denselben Pappstreifen neben einander geklebt werden. Diese Pappstreifen mit ihren je zwei Bildern wurden an den Seitenflächen eines mehrseitigen um eine horizontale Axe drehbaren Prisma befestigt. Um das Prisma herum in der Entfernung von einigen Zollen von den Bildern läuft noch ein Gürtel von Pappdeckelstücken, in welche die nöthigen Oeffnungen eingeschnitten sind, um in den richtigen Momenten die Zeichnungen zu sehen. Aufserhalb dieses Gürtels wird die Prismencombination eines BREWSTER'schen Stereoskops festgestellt, so dafs der Beobachter durch sie und durch die vorbeipassirenden Spalten nach den Bildern hinsehen kann.

C. CLARKE[3] hat das BREWSTER'sche Stereoskop mit einem Fusse versehen, KILBARN[4] es zum Zusammenlegen eingerichtet. SMITH und BECK[5] haben einen Fufs, eine festere Bahn für die Bilder, reichlichere Beleuchtung von allen Seiten, achromatische Linsen angebracht, SAMUEL[6] eine Vorrichtung, um die Entfernung der Bilder von den Linsen der Sehweite des Beobachters anzupassen.

Eigenthümlich ist die Einrichtung von CLAUDET's Stereomonoskop.[7] Er bemerkte, dafs die Bilder einer *Camera obscura,* auf einer mattgeschliffenen Glasplatte entworfen und binocular betrachtet, etwas stereoskopisches Relief zeigen. Die Erscheinung erklärt sich dadurch, dafs jedes Auge auf der matten Glasplatte diejenigen Strahlen am stärksten sieht, welche in Richtung seiner eigenen Gesichtslinie auffallen. Er construirte darauf das Stereomonoskop, welches mittels zweier Linsen zwei zusammengehörige stereoskopische Bilder auf dieselbe Stelle einer matten Glasfläche entwirft. Wenn die Glasplatte binocular betrachtet wird, sieht jedes Auge nur das für dasselbe bestimmte Bild, und es entsteht der Eindruck des Reliefs.

Um Veränderungen in der Stellung der Bilder für Untersuchungen über den optischen Effect solcher Verschiebungen vornehmen zu können, hat WHEATSTONE[8] an seinem oben beschriebenen Spiegelstereoskope die parallelen Wände, an denen die Bilder aufgestellt sind, auf Schlitten verschiebbar gemacht; aufserdem sind die beiden Arme des Stereoskops drehbar um eine feste Axe zwischen den beiden Spiegeln, so dafs man den Convergenzwinkel der Augen verändern kann. HARDIE[9] hat zu ähnlichem Zwecke, um pseudoskopische Reliefs hervorzubringen, ein dem später von mir construirten und oben beschriebenen Telestereoskope ähnliches Instrument mit zwei Spiegelpaaren construirt. Man kann damit die Bilder bald verkehrt, bald in ihrer wahren Lage zeigen

---

1 DUBOSCQ, *Comptes rendus.* XLIV, 148—150.

2 CZERMAK, *Wiener Ber.* XV, S. 463—466. Ein anderes ähnliches Instrument Stereotrope von SHAW in *Proc. Royal Soc.* XI, 70—73.

3 C. CLARKE, *Cosmos.* III. 123.

4 KILBARN, *Cosmos.* III, 770.

5 SMITH und BECK, *Athenaeum.* 1858, II, 269—270. *London J. of Arts.* Juni 1860.

6 SAMUEL, *Rep. of Brit. Assos.* 1858, 2, p. 19.

7 CLAUDET, *Proc. Royal Soc.* IX, 194—196.

8 WHEATSTONE, *Phil. Transact.* 1852, p. 1—17.

9 HARDIE, *Phil. Magaz.* (4) V, 442—446.

das Relief übertreiben, schwächen oder umkehren. H. Meyer[1] hat zu demselben Zwecke die Bilder des Wheatstone'schen Spiegelstereoskops nach ihrer Fläche verschiebbar gemacht, und eine Scale zur Messung der Verschiebungen hinzugefügt. Doch hat die von Wheatstone vorgeschlagene Einrichtung, wo sich die Bilder im Kreise bewegen und ihr Abstand von den Augen ganz unverändert gelassen werden kann, wohl den Vortheil, daſs sie bei Seitenverschiebungen der Bilder die Netzhautbilder derselben ganz unverändert läſst, während bei Meyer's Einrichtung kleine Correctionen wegen der Veränderlichkeit des Abstandes der Bilder von den Augen bei Verschiebungen längs einer ebenen Fläche berechnet werden müssen.

Aehnliche Veränderungen[2] der Convergenz bei der Betrachtung wirklicher Körper
hat Rollet erreicht, indem er vor jedes Auge schräg gerichtet eine planparallele dicke *687*
Glasplatte stellte. Je nachdem deren vordere Flächen der Nasenseite oder der Schläfenseite des betreffenden Auges zugekehrt sind, machen sie die Blicklinien divergenter oder convergenter. Die Erscheinungen waren dabei den Erfahrungen von Wheatstone entsprechend.

Stereoskopenbilder sind theils durch perspectivische Construction der betreffenden Zeichnungen verfertigt und durch Lithographie oder Kupferstich vervielfältigt worden,[3] theils durch Photographie. Unter den ersteren sind nur die nicht schattirten Linienzeichnungen geometrischer Gestalten, regelmäſsiger Körper oder Krystallmodelle von guter Wirkung. Sie sind gleichzeitig die evidentesten Beispiele der stereoskopischen Wirkungen, da hier alle Mittel der Beleuchtung und Schattirung fehlen, welche die Täuschung unterstützen könnten. Zu ihrer Construction gehört aber eine auſserordentliche Genauigkeit, wenn sie nicht verzerrt aussehen sollen, da schon die allerkleinsten Abweichungen sehr merkliche Veränderungen des Reliefs nach sich ziehen können. Es können ganz auſserordentlich verwickelte geometrische Gestalten durch dieses Mittel zu einer klaren körperlichen Anschauung gebracht werden. Da übrigens dergleichen Zeichnungen überall käuflich zu haben sind, so gebe ich hier keine Beispiele derselben. Die bisherigen Versuche, dergleichen lithographirte Figuren auch zu schattiren, sind ziemlich miſslungen, weil die Abstufungen des Schattens in den beiden entsprechenden Figuren nicht gleichmäſsig genug gemacht werden können. Der Hilfsapparat von Rood zur Construction solcher Zeichnungen ist schon oben S. 814 erwähnt worden.

Weit vollkommener ist die Wirkung der stereoskopischen Photographien, die zuerst von Moser in Königsberg gemacht wurden, deren Anfertigung schon einen ausgedehnten Industriezweig bildet und in denen wir Landschaften und Gebäude aller Theile der Erde, Statuen, Thiere, Blumen u. s. w. dargestellt finden. Dieselben wurden anfangs meist so gemacht, daſs man mit derselben *Camera obscura* nach einander Ansichten des Objects von zwei verschiedenen Punkten aufnahm. Das hatte aber den Nachtheil, daſs bei heller Sonnenbeleuchtung die Schlagschatten während der Zeit zwischen der ersten und zweiten Aufnahme ihren Ort wechselten und dann einen falschen Effect in dem Bilde machten. Diese Schatten erscheinen dann mitunter wie körperliche in der Luft befindliche dunkle Schirme. Ich fand einen solchen Effect an einem Bilde von Paris, wo durch die Stellung des Zeigers an der Uhr eines Kirchthurms constatirt werden konnte, daſs nur fünf Minuten zwischen der Aufnahme der beiden Bilder vergangen waren. Dazu kommt die Schwierigkeit der zwei zu präparirenden lichtempfindlichen Platten u. s. w. In neuerer Zeit werden deshalb nach D. Brewster's[4] Vorschlag vielfach Instrumente mit zwei Objectivgläsern benutzt, welche auf zwei verschiedenen Abschnitten derselben Platte gleich die beiden Bilder geben. Die Centra der beiden Objectivlinsen haben den Abstand der menschlichen Augen von einander, oder auch wohl einen etwas gröſseren, 70 bis 75 Millimeter, und die *Camera obscura* selbst bildet also gleichsam ein

---

[1] H. Meyer, *Poggendorff's Annalen.* LXXXV, 198—207.
[2] Rollet, *Wiener Sitzungsber.* XLII, 488—502.
[3] Hessemer hat sehr gute der Art herausgegeben und die Regeln der Construction besprochen in *Dingler's polytechn. Journal.* LXXXIX, 111—121.
[4] D. Brewster, *Phil. Mag.* (4) III, 26—30; 1852. *Rep. of Brit. Assoc.* 1849. 2, p. 5.

umgekehrtes Stereoskop. Diese Instrumente sind sehr zweckmäfsig zur Aufnahme nah Gegenstände und sie geben unmittelbar die Ansicht, wie sie ein am Orte des Instrumen ruhig weilender Beobachter von dem Objecte gehabt haben würde. Sie haben namentli den Vortheil, dafs man bei scharfer Sonnenbeleuchtung durch instantane Exposition d Platte gute Bilder von beweglichen Objecten, Menschen, Thieren, Schiffen, ja selb prachtvolle Bilder der Wellen einer bewegten Wasseroberfläche erzielen kann. Ab sie genügen eigentlich nicht für Landschaften mit weit entfernten Objecten, weil d Distanz der Gesichtspunkte zu klein ist, um in diesen hinreichend grofse Unterschie zu erhalten, und die ferneren Theile der Landschaft deshalb gewöhnlich ganz flach au sehen.[1] Für diese ist es besser, eine Art telestereoskopischer Wirkung zu erziel dadurch dafs man zwei Aufnahmen von zwei entfernten Punkten macht. So habe i zum Beispiel unter den sehr vollendeten photographischen Landschaften von BRA
688 in Dornach Abbildungen des Wetterhorn von je zwei verschiedenen Punkten v Grindelwald aus gefunden, zwei desselben Berges von zwei verschiedenen Punkten d Bachalp aus, ebenso der Jungfrau von Mürren aus, welche eine ausgezeichnete schö Modellirung der Bergform geben, wenn man die ursprünglichen Bilderpaare aus einand schneidet und je zwei aus verschiedenen Paaren combinirt, die also gröfserer Dista der Gesichtspunkte entsprechen, als wenn man die zusammengehörigen combinirt. letzteren Falle erkennt man die körperliche Form der Berge ebenso wenig, wie stillsitzender Beobachter; im ersteren erkennt man sie besser, ähnlich einem Beobacht der hin- und hergeht und die nach einander entstehenden Ansichten des Berges vergleic

Stereoskopische Abbildungen mikroskopischer Gegenstände von sehr schön Wirkung sind von BABO[2] angefertigt worden. Bei der Aufnahme wurde die Neigu des Objecttisches gegen die Axe des Mikroskops für die beiden Bilder verschieden gema und so die stereoskopische Parallaxe gewonnen.

Bewegliche Bilder hat J. G. HALSKE verfertigt. Zuerst machte er in ein Doppelbilde, einen abgestumpften Kegel darstellend, die mittleren kleinen Kreise einer horizontalen Linie verschiebbar. Am hübschesten war aber die Erscheinung sehen auf einer schwarzen horizontalen kreisförmigen Scheibe von etwa drei Zoll Dur messer, die um ihre Axe sich sehr leicht drehte und, einmal angestossen, ziemlich la in Bewegung blieb. Auf dieselbe wurde eine kleinere weifse Kreisscheibe (Oblate) gel und die Scheibe mit einem Auge durch ein passend befestigtes total reflectirendes rec winkeliges Prisma betrachtet, mit dem andern frei. Wenn sich der kleinere Kreis der Drehung rechts vom Mittelpunkt befand, sah ihn das freie Auge rechts, das du das Prisma schauende Auge aber wegen der Spiegelung links vom Mittelpunkte, so wurde die stereoskopische Parallaxe hergestellt. Der kleine Kreis schien durch Fläche des grofsen hindurch wechselnd bald aufzusteigen, bald hinabzusinken.

Geschichtliches. Die älteren Ansichten über die Tiefenwahrnehmung schlos sich zunächst an die Frage über die scheinbar verschiedene Gröfse des Mondes. PTOLEMA (150 n. Chr.) sagt schon, dafs die Seele von der Gröfse der Gegenstände nach ei vorgefafsten Schätzung ihrer Entfernung urtheilt; diese scheine gröfser, wenn vi Gegenstände zwischen dem Auge und der betrachteten Sache liegen, wie es der I ist, wenn die Himmelskörper nahe beim Horizont sind.[3] An einer andern Stelle frei schreibt er die Vergröfserung der Brechung der Strahlen durch die Dünste zu.[4] ALHAZ (im 10. Jahrh.) widerlegt die letztere Ansicht und kehrt zur ersteren zurück. I

[1] Ueber die Wahl des Winkels CLAUDET im *Cosmos*, IV, 65—67, 1847. — SUTTON im *Cosmos*, 313—319.

[2] BABO, *Bericht der Freiburg. Ges.* II, 312—314.

[3] MONTUCLA, *Hist. des Mathém.* Vol. I, p. 309. — ROGERI BACONIS *Perspect.*, p. 118. — PRIESTL *Geschichte der Optik*, übersetzt von KLÜGEL, p. 11—12 — GREGORY *Geometria. Pars univers.*, p. 141. MALEBRANCHE, *Recherche de la vérité.* P. I. — HUYGENS in SMITH *Opticks.* Art. 586. — LOGAN in *Trans.* XXXIX, 404.

[4] Almagest, L. III, c. 3. Auch STRABO, *Geogr.* I, 3.

[5] ALHAZEN, L. VII, p. 53—54.

pflichtet ROGER BACO bei, während PORTA[1] es bestreitet. VITELLIO[2] (1270) schliefst sich ALHAZEN an und macht auch darauf aufmerksam, dafs überhaupt das Himmelsgewölbe am Horizont scheinbar entfernter sei, als im Zenith. KEPLER,[3] dem sich CARTESIUS[4] im Wesentlichen anschlofs, sagt über die Beurtheilung der Entfernung schon, die Entfernung der beiden Augen sei die Grundlinie, deren man sich zur Messung der Entfernung der gesehenen Objecte bediene. Und weil ein Auge von beiden Augen diese Art zu messen lerne, so könne auch bei verhältnifsmäfsig kleinen Entfernungen die Breite des Sterns im Auge als Grundlinie dienen. Dann bemerkt er weiter, dafs man auch mit einem Auge die verschiedenen Grade des Lichts zu schätzen und die Gröfse mit der Entfernung der Sache durch die Uebung zu vergleichen wisse, indem man durch die Erfahrung lerne, wie weit man die Hand darnach auszustrecken und dahin zu gehen habe. Er kannte also schon die Hauptmomente dieser Beurtheilung, abgesehen von der Verschiedenheit der Bilder.

GASSENDI[5] konnte indessen in Bezug auf den Mond wieder behaupten, er erscheine gröfser in der Nähe des Horizonts, weil dann wegen des schwächeren Lichts die Pupille sich erweitere. HOBBES[6] ging auf die Erklärungen der Alten zurück und bestimmte die 689
scheinbare Gestalt des Himmelsgewölbes als ein Stück einer Kugelfläche. Pater GOUYE,[7] MOLYNEUX[8] und SAMUEL DUNN[9] bemerkten dagegen, dafs es nicht nöthig sei, Gegenstände zwischen dem Auge und dem Monde zu haben, und dafs doch die Täuschung nicht (wenigstens nicht immer) aufhöre. DESAGULIERS[10] arrangirte Versuche, wobei die Zuschauer zu falschen Schlüssen über die Entfernung inducirt wurden und demgemäfs auch die Gröfse falsch beurtheilten. BERKELEY[11] hob das trübe Ansehen und die Lichtschwäche des Mondes am Horizonte hervor, Umstände, die jedenfalls einen sehr deutlichen Einflufs haben. Auch SMITH[12] untersuchte den Einflufs der scheinbaren Gestalt des Himmelsgewölbes; er stellte eine Reihe Schätzungen an über scheinbar gleiche Distanzen, die bald dem Zenith, bald dem Horizont näher gelegen waren, und fand, dafs die Entfernung des Horizonts scheinbar drei bis vier Mal gröfser sei, als die des Zeniths. LAMBERT[13] verglich den Querschnitt des Himmelsgewölbes mit einer Muschellinie. Auch die Gestalt und Breite des Regenbogens wird dadurch verändert, er erscheint flach elliptisch, seine Mitte schmaler als die Fufspunkte; ebenso werden Sonnenhöfe, Sterndistanzen scheinbar verändert. SMITH hat auch folgenden hübschen Versuch angegeben. Wenn man in den Brennpunkt einer Convexlinse eine kleine kreisrunde Oblate stellt, so erscheint deren Bild, durch die Linse gesehen, immer unter demselben Gesichtswinkel, wie weit auch der Beobachter sich entferne, so lange seine Ränder überhaupt noch durch die Linse sichtbar sind. Scheinbar wächst aber die Gröfse des Bildes aufserordentlich, wenn sich der Beobachter entfernt, weil wir es nicht in unendlicher Entfernung, sondern noch hinter der Linse befindlich denken.

SMITH, der gegen BERKELEY's Einmischung der Luftperspective polemisirte, mufs indessen doch zugeben, dafs der Mond am Horizont bald gröfser, bald kleiner aussieht. Auch EULER[14] schliefst sich BERKELEY an.

Den Einflufs, den die scheinbare Entfernung auf die Schätzung der absoluten Gröfse

---

[1] PORTA, *De refractione*, p. 24, 128.
[2] VITELLIO, *Optica*, Editio RISNERI, p. 412. Basel 1572.
[3] KEPLER, *Paralipomena*, p. 62—66. 1604.
[4] CARTESIUS. *Dioptr.* p. 68. *De homine*, p. 66—71.
[5] GASSENDI, *Opera.* Vol. II. p. 325.
[6] ROBINS *tracts.* Vol. II, p. 241—244.
[7] GOUYE, *Mém. de l'Acad. de Paris.* 1700, p. 11.
[8] MOLYNEUX, *Philos. Transact.* Vol. I, p. 221.
[9] SAMUEL DUNN, *Philos. Transact.* Vol. LII. p. 462.
[10] DESAGULIERS, *Philos. Transact.* Vol. VIII, p. 130.
[11] BERKELEY, *Essay toward a new theory of vision.* Dublin 1709. p. 30. — ROBINS *mathemat. tracts.* II, 242.
[12] SMITH, *Optik*, deutsche Ausg. S. 418.
[13] LAMBERT, *Beiträge.* I, § 60—78.
[14] EULER, *Briefe an eine deutsche Prinzessin.* S. 317.

hat, hoben auch MALEBRANCHE und BOUGUER[1] gegen VARIGNON[2] hervor. Ueber di Mittel, die Entfernung zu beurtheilen, sprachen sich DE LA HIRE[3] und PORTERFIELI ebenfalls den bisher erwähnten Ansichten entsprechend aus.

Umkehrung des Reliefs ist auch schon früh bemerkt worden und zwar zuerst b(der Betrachtung durch umkehrende Mikroskope oder Teleskope von JABLOT[5] un. G. P. GMELIN,[6] und wurde von RITTENHOUSE[7] auf verkehrte Beleuchtung geschobe: MUNCKE[8] hob dagegen hervor, dafs sie auch bei der Betrachtung durch eine einfach Loupe eintreten kann. ABAT fügte die hübsche Beobachtung hinzu, dafs, wenn ma eine mit Wasser halb gefüllte Glasflasche im umgekehrten Bilde eines Hohlspiegels be trachtet, der leere Theil gefüllt, der gefüllte leer erscheint, weil man die Flüssigke: sich immer unterhalb der Grenzfläche denkt. Die neueren Ermittelungen und Ansichte: über die Umkehrung des Reliefs sind oben schon angeführt worden.

Dafs die Bilder, welche beide Augen von einem körperlichen Gegenstande erhalte müfsten, etwas verschieden seien, hatten EUKLID, GALEN, PORTA, AGUILONIUS[9] scho gewufst und Schwierigkeiten darin gefunden. LEONARDO DA VINCI[10] hob schon hervo: dafs bei dem zweiäugigen Sehen von Körpern dadurch ein Unterschied gesetzt werd(der durch kein Gemälde nachgeahmt werden könnte. SMITH[11] blickte mit parallele
690 Gesichtslinien nach den beiden Schenkeln eines Cirkels, die bis zur Augendistanz ge öffnet waren, und bemerkte plötzlich, wie sich beide Schenkel zu einem vereinigten, de in weite Entfernung hinauszureichen schien. Es war dies eine stereoskopische Wahr nehmung. Aehnliche Wahrnehmungen an Linealen und Fäden sind von WELLS[12] gemach worden.

Wie viel die Verschiedenheit der Bilder beider Augen zur Unterscheidung de Tiefendimensionen beiträgt, wurde aber erst durch WHEATSTONE's geistreiche Erfindun des Stereoskops nachgewiesen. Die erste Nachricht davon wurde 1833 veröffentlicht, die ausführliche Beschreibung der Erscheinungen und ihre Theorie 1838.[14] Nac D. BREWSTER's Angaben[15] hätte ein Mathematiker J. ELLIOTT in Edinburg es ebenfall im Jahre 1834 erfunden und 1839 veröffentlicht. Ein Dritter, der die Erfindung i Anspruch nimmt, ist G. MAYNARD.[16] WHEATSTONE kann jedenfalls den Vorrang de Priorität behaupten, und ist auch sein Aufsatz von 1838, der die Beschreibung de Spiegelstereoskops enthält, voll von einer reichen Menge von Versuchen und Beobacl tungen, durch welche alle wesentlichen hierher gehörigen Verhältnisse deutlich dargeleg und erwiesen werden. Später wurde im Jahre 1859 von Dr. A. BROWN[17] im Museu: Wicar in Lille eine Doppelzeichnung von JACOPO CHIMENTI (geboren 1554, g storben 1640) gefunden, einen Mann darstellend, der auf einem Schemel sitzt und i der einen Hand einen Cirkel, in der andern einen Lothfaden hält. Die beiden Zeicl nungen, stereoskopisch vereinigt, geben eine Art von Relief. D. BREWSTER glaubte an nehmen zu dürfen, dafs sie von CHIMENTI zur Prüfung der Theorie von PORTA, die 159

---

1 MALEBRANCHE und BOUGUER, *Mém. de l'Académie.* 1755. p. 99 u. 156.
2 VARIGNON, *Ebenda.* 1717.
3 DE LA HIRE, *Mém. de Paris.* 1694.
4 PORTERFIELD, *Treatise on te eye.* 1769.
5 JABLOT, *Description de plusieurs nouveaux microscopes.* 1712.
6 G. P. GMELIN, *Philos. Transact.* 1747.
7 RITTENHOUSE, *Transact. of the American Philos. Society.* 1786. II.
8 MUNCKE, *Gehler's physik. Wörterbuch*, neu bearbeitet. Leipzig 1828. IV. 1455.
9 Siehe BREWSTER *the stereoscope, its history, theory and construction.* London 1856.
10 LEONARDO DA VINCI, *Trattato della pittura.*
11 SMITH, *System of Optics.* II, 388 u. 526.
12 WELLS, *Essay upon single vision with two eyes.* 1792. Zweite Aufl. 1818.
13 In H. MAYO *Outlines of human physiology.* p. 288.
14 C. WHEATSTONE, *Philosophical Transactions.* 1838. P. II, S. 371—394.
15 D. BREWSTER, *Liverpool and Manchester Photographic Journal.* 1857. January 1, p. 4—7. — January 1 p. 21—23.
16 G. MAYNARD, *Toronto Royal Standard.* 1836. *Toronto Times.* 1857. October 8.
17 A. BROWN, *Photographic Journal.* 1860, May 15. — *Encyclop. Britann.* Artikel: *Stereoskope.*

veröffentlicht war, ausgeführt seien. Seitdem sind photographische Abbildungen dieser Zeichnungen in den Handel gekommen. Die beiden Bilder des Mannes sind in der That von verschiedenen Gesichtspunkten aus aufgenommen; ich mufs indessen gestehen, dafs ich es für unwahrscheinlich halte, dafs der Zeichner sie für einen stereoskopischen Versuch bestimmt habe; denn gerade der Sessel, der Cirkel und der Faden, welche leicht richtig zu construiren gewesen wären, sind als Nebendinge behandelt und so unregelmäfsig und verschiedenartig gezeichnet, dafs sie sich nicht vereinigen lassen. Und hätte der Zeichner die Theorie prüfen wollen, so müfste man eher erwarten, dafs die leicht zu zeichnenden Dinge richtig, die schwer zu zeichnenden, wie die Gestalt des Menschen, ungenau gemacht worden wären. Es scheint mir wahrscheinlicher, dafs der Zeichner, mit der ersten Figur nicht ganz zufrieden, sie noch einmal von einem etwas anderen Standpunkte aus gezeichnet und zwar zufällig auf dasselbe Blatt.

Die jetzt gewöhnliche Form des Linsenstereoskops wurde von D. Brewster 1843 veröffentlicht. Die Uebersicht der weiteren Erfindungen gibt die weiter unten folgende Uebersicht der Literatur; die Geschichte der Theorie dieser Erscheinungen wird bei den nächsten Paragraphen folgen. Die Untersuchungen über die Fehler der reinen binocularen Localisation sind von Recklinghausen,[1] E. Hering,[2] J. Towne und mir selbst[3] in Angriff genommen worden, bedürfen aber noch vielfach erneuerter Wiederholung und Erweiterung von andern Beobachtern.

§ 31. Das binoculare Doppeltsehen.

Wir haben bisher die Erscheinungen des zweiäugigen Sehens betrachtet, 695
nsofern sie sinnliche Zeichen für eine bestimmte Lage der gesehenen Raumbjecte sind. Es bleibt noch übrig, die subjectiven Erscheinungen, die sich ierbei zeigen, zu untersuchen.

Ich habe oben auseinandergesetzt, wie im monocularen Sehen neben der nschauung der wirklichen Vertheilung der Objecte nach den drei Dimensionen es Raumes sich, wenn man auf die Art, wie sie gesehen werden, achtet, die nschauung ihrer Vertheilung in dem flächenhaften Gesichtsfelde ausbildet. enn nun mit zwei Augen gesehen wird, so erscheinen die Gegenstände in em Sehfelde jedes Auges, aber da die Bilder in beiden Sehfeldern, wie ir schon gesehen haben, im Allgemeinen nicht gleich sind, so können sie ch im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde auch nicht absolut decken, sondern bleiben gewisse Ungleichheiten beider Sehfelder bestehen und werden ahrgenommen. In diesem Kapitel sollen die Erscheinungen betrachtet erden, welche von der Ungleichheit der räumlichen Verhältnisse der Bilder ider Sehfelder herrühren, im nächsten die, welche von der ungleichen eleuchtung oder Färbung der Sehfelder oder ihrer Theile verursacht werden.

Es ist wohl zu beachten, dafs diese Betrachtungsweise des Gesichtsldes als solchen, nicht die natürliche und zuerst erworbene Art des Wahrhmens ist, sondern vielmehr stets erst durch bewufste Reflexion auf die schaffenheit unserer Gesichtseindrücke veranlafst wird. Wir betrachten nn nicht mehr die Welt der Objecte an sich, wie sie *ist*, sondern wir obachten, wie sie uns von unserem dermaligen Standpunkte aus *erscheint*.

---

[1] Recklinghausen, *Netzhautfunctionen im Archiv für Ophthalmologie.* V. 147—173.
[2] E. Hering, *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig 1864. 4. und 5. Heft.
[3] H. Helmholtz, *Archiv für Ophthalmologie.* X, 1, S. 27—40.

Es ist dann wesentlich die Erscheinung, die uns interessirt, entweder wei wir sie als Zeichner nachbilden, oder als Physiologen theoretisch untersuchen wollen.

So wie wir nun im zweiäugigen Sehen anfangen das Gesichtsfeld als solches zu untersuchen, bemerken wir, dafs die Ordnung der Objecte in den beiden Sehfeldern nicht übereinstimmt. Indem wir zum Beispiel durch das Fenster nach den Bäumen draufsen sehen, sind wir im Stande, das Laubwerk mit dem linken Auge noch etwas weiter nach rechts hin zu verfolgen, als mit dem rechten. Wir sehen mit jenem Auge am rechten Rande des Fensters noch Theile des Laubwerks, die wir mit dem rechten nicht sehen können, welche für das rechte durch den Rahmen des Fensters verdeckt sind. Wir sehen also den Rahmen des Fensters in den beiden Gesichtsfeldern an zwei verschiedene Theile der Laubmasse angrenzen.

Ebenso verdeckt das Fensterkreuz dem rechten Auge einen andern Theil der Laubwand, als dem linken. Indem wir also der Laubwand mit
696 dem Blicke folgen, tritt uns zwei Mal das Fensterkreuz an zwei verschiedenen Stellen entgegen, die Laubwand, wenn auch unvollständig verdeckend. Das Fensterkreuz erscheint also in zwei Stellen des Gesichtsfeldes, es erscheint doppelt.

Wenn man dagegen den Blick auf das Fensterkreuz oder die Glasscheiben richtet und ihn entlang wandern läfst über die kleinen Flecken der einen Scheibe, dann über den mittleren verticalen Balken des Kreuzes, dann über die andere Scheibe, so kann es kommen, dafs ein Baumstamm, der im Gesichtsfelde des rechten Auges rechts neben und hinter dem verticalen Holze erscheint, für das linke Auge links daneben liegt. Also wird auch das fernere Object in der durchlaufenen Reihenfolge der betrachteten Punkte zwei Mal vorkommen und doppelt erscheinen.

Wir haben in § 28 gesehen, dafs wir die Reihenfolge der Punkte im Gesichtsfelde nicht blos durch wirkliche Bewegung bestimmen können, sondern sie auch lernen nach der Reihenfolge ihrer neben einander liegenden Netzhautbilder im Auge zu beurtheilen. Wir brauchen also auch nicht den Blick wirklich über das Gesichtsfeld hingehen zu lassen, um die Doppelbilder zu sehen, sondern können dauernd einen Punkt fixiren und doch die verschiedene Anordnung der Objecte in beiden Sehfeldern erkennen. Wenn dasselbe Object entweder auf verschiedenen Seiten des fixirten Punktes erscheint, oder aber die Gröfse und Richtung seines Abstandes vom Fixationspunkte in hinreichend auffallender Weise verschieden ist, wird man erkennen, dafs das betreffende Object in zwei verschiedene Stellen des Gesichtsfeldes eingeordnet erscheint.

Es seien in *Fig. 243* b_0 und b_1 die beiden Augen, welche den Punkt a fixiren, der ihnen demnach einfach an seinem wahren Orte im Raume erscheint. Der Punkt c, welcher näher als a ist, wird dem Auge b_0 rechts von dem Punkte a im Gesichtsfelde erscheinen müssen, da c rechts von der Gesichtslinie ab_0 liegt. Dem Auge b_1 erscheint aber der Punkt c links von a zu liegen.

Also kommt er im gemeinsamen Gesichtsfelde einmal rechts, einmal links von a vor, erscheint also doppelt, und zwar in sogenannten **ungleichnamigen Doppelbildern**, da das scheinbar rechts liegende Bild von a dem linken Auge, das scheinbar links liegende dem rechten Auge angehört.

Umgekehrt ist es mit dem entfernter liegenden Punkte d. Er erscheint im Gesichtsfelde des rechten Auges b_1 rechts neben a, in dem des linken Auges links neben a, folglich in **gleichnamigen Doppelbildern**.

Ein etwas anderer Fall ist der in *Fig. 244* dargestellte; b_0 und b_1 sind wieder die Augen, a der gemeinsame Fixationspunkt. Der Punkt c liege außerhalb des Winkels $b_0 a b_1$, in geringerem Abstande von den Augen als der Fixationspunkt. Dies Mal liegt c allerdings in den Gesichtsfeldern beider Augen nach links von a, weil die Richtungslinien cb_0 und cb_1 beide nach links beziehlich von $a b_0$ und $a b_1$ liegen. Aber der Winkel $cb_0 a$ ist viel kleiner, als der Winkel $cb_1 a$. Im Gesichtsfelde von b_0 ist also c um einen viel kleineren Winkel von a entfernt, als im Gesichtsfelde des andern Auges. Ist diese Differenz merklich genug, so erscheint das Bild wieder an zwei verschiedenen Orten des gemeinsamen Gesichtsfeldes, also doppelt. Die Doppelbilder sind aber in diesem Falle nicht so deutlich, als wenn sie auf verschiedenen Seiten des Fixationspunktes liegen, wie in *Fig. 243*. Namentlich 697

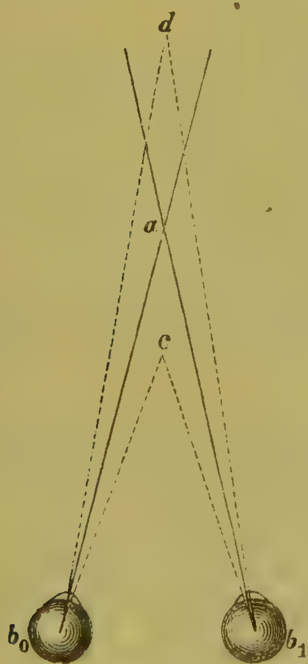


Fig. 243.

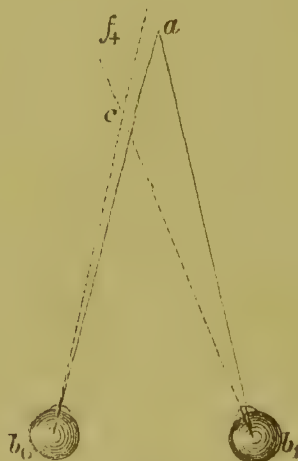


Fig. 244.

enn sie sich mehr von a entfernen und in die Seitentheile des Gesichts-ldes zu liegen kommen, mufs ihr Abstand und der Unterschied ihrer elligkeit von der der Umgebung schon ziemlich bedeutend sein, wenn sie emerkt werden sollen. Etwas deutlicher werden sie, wenn sich zur Seite n a, etwa gleich weit von den Augeu abstehend wie a, ein scharf bezeichnetes bject f zwischen den verlängerten Schenkeln des Winkels $b_0 c b_1$ befindet,

so dafs im gemeinsamen Gesichtsfelde die Doppelbilder von *c* auf verschiedenen Seiten von *f* liegen. Man hat dann im Gesichtsfelde des Auges b_0 die scheinbare Reihenfolge *acf*, in dem von b_1 die Folge *afc*. Dann ist es leichter die Trennung der Bilder zu erkennen, als wenn man sie vor einem gleichmäfsig gefärbten und erleuchteten Hintergrund sieht.

Endlich kann man auch Doppelbilder sehen, wenn die Bilder desselben Punktes in den Gesichtsfeldern beider Augen zwar gleiche Distanz von dem fixirten Punkte haben, aber hinreichend verschiedene Richtung, dafs deren Unterschied auffällig genug ist.

Dies ist der Fall, wenn der Punkt *c* höher oder tiefer und gleichzeitig den Augen ein wenig näher als der Punkt *a* gelegen ist.

Wir sehen also diejenigen Objectpunkte im Allgemeinen doppelt, welche in beiden Sehfeldern hinreichend verschiedene scheinbare Lage beziehlich zum Blickpunkte haben, dafs diese Verschiedenheit durch die Schätzung des Augenmaafses bemerkt werden kann. Solche Objecte dagegen, welche scheinbar gleiche Lage gegen den Fixationspunkt im Sehfelde haben, sehen wir einfach.

Ich will ein von beiden Augen als einfach gesehenes Bild ein Ganzbild nennen, die zwei Bilder zusammengenommen, welche von demselben Objecte entworfen werden, welches nicht einfach gesehen wird, ein Doppelbild, jedes einzelne der letzteren dagegen ein Halbbild.

Wir haben nun näher zu untersuchen, welche Punkte beider Sehfelder scheinbar gleiche Lage zum Fixationspunkte haben und also im gemeinsamen
698 Gesichtsfelde sich decken. Ich nenne solche Punkte Deckpunkte oder correspondirende Punkte; man hat sie auch, einer besonderen theoretischen Auffassung zu Liebe, identische Punkte genannt. Da jedem Punkte jedes Sehfeldes ein Netzhautpunkt entspricht, so kann man auch von Deckpunkten, correspondirenden oder identischen Punkten der beiden Netzhäute reden. Punkte, welche einander nicht correspondiren, nenne ich mit Fechner disparat.

1. Die Blickpunkte der beiden Sehfelder normaler Augen sind Deckpunkte. Der Blickpunkt jedes Sehfeldes entspricht der anatomisch ausgezeichneten Stelle der Netzhaut, der Mitte der *Fovea centralis*, der Stelle des deutlichsten Sehens. Der Blickpunkt ist der fixirte Punkt des Gesichtsfeldes. Mit dem ausgesprochenen Satze gleichgeltend ist es also auch zu sagen, der fixirte Punkt des vor uns liegenden Raumes werde stets einfach gesehen, und ein Objectpunkt, der sich auf den beiden Centren der Netzhautgruben abbilde, werde einfach gesehen.

Es ist dies ein Satz, der sich bei allen Beobachtungen normaler Augen bestätigt, von gewissen Fällen des Schielens, wo er Ausnahmen erleidet, werden wir unten handeln.

Wenn wir nach dem Grunde dieses Verhaltens fragen, so kommen wir auf die viel besprochene Frage, warum wir mit zwei Augen doch einfach sehen. Wenn man die Sinnesempfindungen einfach als Zeichen ansieht, deren

Deutung erlernt werden mufs, so bietet die Beantwortung keine besondere Schwierigkeit. Fast alle äufseren Objecte afficiren gleichzeitig verschiedene Nervenfasern unseres Körpers und bringen zusammengesetzte Sinnesempfindungen hervor, die wir in ihrer Zusammensetzung als das gegebene sinnliche Zeichen des betreffenden Objects auffassen lernen, ohne uns der Zusammensetzung dieses Zeichens selbst bewufst zu werden. Im Gegentheil lernen wir die zusammengesetzte Beschaffenheit der Empfindung in den bei weitem meisten Fällen dieser Art erst durch wissenschaftliche Analyse kennen. Die Empfindung einer bestimmten Klangfarbe ist zusammengesetzt aus einer Mehrzahl von Empfindungen vieler einfacher Töne; einen Stift, den wir in der Hand halten, fühlen wir mit zwei Fingern und also durch zwei Gruppen getrennter Nervenfasern, wir riechen denselben Geruch mit zwei Nasenhöhlen, das scheinbar einfache Gefühl des Nassen, welches ein berührter Körper erzeugt, ist aus dem des Glatten und des Kalten zusammengesetzt u. s. w. In der That ist kein Grund, aus einer complicirten Wirkung auf ein so complicirtes Reagenz, wie unser Körper ist, auf ein entsprechend complicirtes Object zu schliefsen.

Es wird also im Allgemeinen durchaus von der Erfahrung abhängen, ob eine häufig wiederkehrende Gruppe von Empfindungen als das sinnliche Zeichen eines oder mehrerer Objecte von uns kennen gelernt wird.

Berücksichtigen wir nun, dafs der normale Gebrauch der Augen derjenige ist, wobei wir das Object, welches unsere Aufmerksamkeit zur Zeit fesselt, mit beiden Augen fixiren, also auf den Centren der beiden Netzhautgruben abbilden, mit denen wir es am genausten sehen können, so ergiebt sich daraus, dafs die beiden Centra der Netzhautgruben immer Bilder desselben einen äufseren Objectes abbilden werden, dessen Einheit übrigens 699
durch den Tastsinn, so oft als nöthig, zu constatiren ist, und dafs ihre Empfindungen daher in räumlicher Beziehung immer als gleichgeltend kennen gelernt werden. Wir sehen also einfach mit beiden Blickpunkten, weil beim natürlichen normalen Gebrauche der Augen auf beiden Netzhautgruben immer dasselbe Object abgebildet ist, von dessen nur einmaligem Vorhandensein wir durch den Tastsinn unterrichtet sind oder uns unterrichten können.

Die entgegengesetzte Ansicht dagegen, wonach gewisse Empfindungen unseres Körpers schon vor aller Erfahrung gewisse Raumvorstellungen hervorzurufen im Stande sind, mufs annehmen, dafs die beiden Netzhautcentra ebenso, wie jedes andere Paar zusammengehöriger Deckstellen beider Netzhäute, durch einen angeborenen Mechanismus identische Raumanschauungen geben. Dies war auch der Grund, aus welchem die Deckstellen der Netzhäute zuerst als identische Stellen bezeichnet wurden. Eine kritische Vergleichung beider Ansichten läfst sich erst am Schlusse des folgenden Paragraphen geben.

Bei vielen Fällen sogenannten concomitirenden Schielens finden sich Ausnahmen von dem Gesetze, dafs die Netzhautgruben Deckstellen sind, namentlich bei solchen Individuen, deren beide Augen annähernd gleich gut

brauchbar zum Sehen sind. Bei der genannten Art des Schielens könne beide Augen nicht parallel gerichtet werden, sondern stehen entwed convergent oder divergent, und zwar so, dafs bei allen Richtungen de Gesichtslinien der Winkel der Convergenz oder Divergenz nahehin die gleich Gröfse behält. Hat ein Auge eine beträchtlich gröfsere Sehschärfe, als da andere, so pflegt der Kranke die Objecte nur mit dem besseren Auge z fixiren, und nur, wenn man dieses mit der Hand bedeckt, fixirt er sie m dem andern Auge. Sind beide Augen von ziemlich gleicher Sehschärfe, s ist das Schielen alternirend, das heifst der Patient braucht zum Fixire bald das eine, bald das andere Auge, beurtheilt übrigens mit beiden Auge die Richtung der gesehenen Gegenstände richtig. In der Mehrzahl diese letzteren Fälle nun zeigt es sich, dafs die beiden Fixationspunkte nicht meh Deckstellen sind, sondern dem Centrum der Netzhautgrube des einen Auge eine andere, je nach der Richtung des Schielens mehr nach innen oder aufse gelegene Stelle der andern Netzhaut correspondirt. Der Schielende sieh alsdann einfach trotz der falschen Stellung seiner Augen, Der Nachweis, dafs e wirklich mit beiden Augen sieht, und nicht etwa blos das eine Bild ver nachlässigt, wie man sonst anzunehmen pflegte, kann geführt werden, wen man vor eines seiner Augen ein Prisma mit der brechenden Kante nac oben oder unten gekehrt bringt. Er sieht dann, wie ein Normalsichtige zwei übereinanderstehende Doppelbilder des Objects. Durch das Prisma wir nämlich das Bild des einen Auges nach oben verschoben, und bei eine solchen Trennung des binocularen Ganzbildes in übereinander stehende Halb bilder kann man leicht und sicher erkennen, ob beide Halbbilder gesehe werden, und ob das eine oder das andere mehr nach rechts oder links steht Ebenso treten Doppelbilder auf, wenn man vor das eine Auge ein Prism mit der brechenden Kante nach links oder rechts gekehrt hält, wodurch da eine Halbbild seitlich verschoben wird, selbst wenn das Prisma so gewähl
700 und so gehalten ist, dafs nun Bilder des gleichen Objects auf die beide Netzhautcentra fallen. Auch wenn dergleichen Patienten noch fähig sind durch besondere Anstrengung die Augen in parallele Stellung zu bringen wo sie entfernte Objecte einfach sehen sollten, sehen sie diese doppelt.

Dasselbe geschieht nun auch, wenn durch eine gelungene Operation de Augen die normale Stellung wiedergegeben ist. Die Patienten werden dann in den ersten Tagen von den Doppelbildern sehr gequält, später lernen si diese zu übersehen, bis dann endlich, nach einem Jahre oder längerer Zeit sich das normale Identitätsverhältnifs hergestellt findet. Doch geschieht da letztere nicht in allen Fällen, namentlich nicht in solchen, wo das eine Auge eine erheblich geringere Sehschärfe hat, als das andere; in solchen bleiben meist die nach der Operation auftretenden Doppelbilder in unveränderte Stellung zu einander bestehen, aber das undeutlichere wird bei der Orientirung vernachlässigt. Endlich kommen auch Fälle vor, wo diese Vernachlässigung des einen Bildes so weit geht, dafs es selbst mit Hilfe von Prismen und farbigen Gläsern nicht zur Wahrnehmung gebracht werden kann

Ebenso wie bei geringer Sehschärfe des einen Auges die Patienten ach der Operation sich von den Doppelbildern leichter befreien durch Vernachlässigung des einen, als durch Ausbildung eines neuen Identitäts-erhältnisses, so bildet sich auch bei Schielenden mit einem schlecht ehenden Auge weniger leicht die beschriebene Incongruenz der Netzhäute us. Bei solchen zeigen sich dann selbst nach jahrelangem Schielen noch mmer die beiden Netzhautcentra als correspondirend. Dasselbe ist der Fall n allen denjenigen Fällen, wo der Convergenz-, beziehlich Divergenzwinkel, len die Blicklinien miteinander bilden, veränderlich ist, entweder bei ver-chiedener Richtung des Sehens oder periodisch wechselnd zu verschiedenen eiten, weil in solchen Fällen die Bilder, welche die Netzhautgrube des inen Auges treffen, auf sehr verschiedene Stellen der andern Netzhaut fallen nd sich defshalb keine feste Gewöhnung der Zusammengehörigkeit aus-ilden kann.[1]

Auch zeigte sich in der That bei Schielenden, deren eines Auge ver-inderte Sehschärfe hat, dafs sie beim Vorhalten eines rothen Glases vor in Auge Doppelbilder bald sehen, bald plötzlich wieder nicht sehen, ohne afs sich die Stellung des Auges geändert hat, oder dafs sie nach der er Operation das farbige Bild bald rechts, bald wieder links von dem ngefärbten Bilde sehen, oder gar nicht zu sagen wissen, ob es rechts oder nks sei. Bei einem solchen Auge, dessen Bilder wegen ihrer Unvollkommen-eit wenig beachtet werden, bleibt, wie es scheint, die Orientirung überhaupt nmer eine unsichere, und die Erinnerung an das vor dem Schielen vor-anden gewesene Identitätsverhältnifs kämpft gleichsam mit dem neuen, as sich nicht recht sicher und bestimmt ausbilden kann. ALFRED GRAEFE 701
emerkt mit Recht, dafs hier gerade das Schwanken der Aussagen harakteristisch für den Vorgang sei.

2. Die Netzhauthorizonte beider Augen correspondiren inander. Ich habe oben auf S. 618 die Netzhauthorizonte für normal-chtige Augen definirt als diejenigen Meridiane beider Augen, welche bei ralleler Richtung derselben in der Primärstellung mit der Visirebene sammenfallen, und schon angeführt, dafs diese mit einander correspondiren. ei kurzsichtigen Augen ist das meist nicht der Fall, und ich habe oben hon vorgeschlagen, als Netzhauthorizonte diejenigen Meridiane zu betrachten, elche in die Visirebene fallen bei einer solchen Stellung der Augen, wo ne Reihe Deckstellen beider Netzhäute in der genannten Ebene liegt. ies wird für kurzsichtige Augen meist eine etwas nach abwärts gerichtete

---

[1] Der Nachweis, dafs viele Schielende mit beiden Augen und doch einfach sehen, wurde geliefert n PICKFORD in ROSER und WUNDERLICH's *Archiv für physiologische Heilkunde*, 1842, S. 590. Die ersten lle von Incongruenz beschrieben durch ALBRECHT V. GRAEFE im *Archiv für Ophthalmologie*, I. 1, 234; rüber auch NAGEL, *Das Sehen mit zwei Augen.* Leipzig, 1861. S. 130–135. Die Resultate aus einer ößeren Zahl von Beobachtungen giebt ALFRED GRAEFE im *Archiv für Ophthalmologie*, XI, 2, p. 1–46. rner F. C. DONDERS im *Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde*, Bd. III, S. 357 d 358; *Anomalies of accommodation and refr.*, p. 164–166. Es sind dies Beobachtungen von fundamentaler ichtigkeit für die Theorie des Binocularsehens, und wäre eine möglichst häufige und genaue Wieder-lung derselben zu wünschen.

Convergenzstellung sein. Dann würde der oben hingestellte Satz nur Consequenz der Definition des Begriffs „Netzhauthorizont“ sein. Es ist aber noch zu bemerken, dafs die Netzhauthorizonte auch dadurch ausgezeichnet sind, dafs bei der Lage des Fixationspunktes in der Medianebene für das Augenmaafs ihre Ebenen in der Visirebene zu liegen scheinen.

Genaue Bestimmungen über die Lage der Netzhauthorizonte sind von Volkmann für seine (etwas kurzsichtigen) Augen gegeben worden.[1] An einer ebenen, vor den Augen befindlichen senkrechten Wand waren zwei Drehscheiben so angebracht, dafs der Drehpunkt einer jeden in der optischen Axe des bezüglichen, auf die unendliche Ferne gerichteten Auges lag. Auf jeder Scheibe war eine feine Linie verzeichnet, die entweder einen Durchmesser oder einen Radius bildete und mit der Umdrehung der Scheibe ihre Lage veränderte. Die Gröfse der Drehung konnte mittels einer am Rande der Scheiben angebrachten Gradtheilung gemessen werden.

1. Versuchsreihe: Links ein Durchmesser horizontal gestellt; der Durchmesser der rechten Scheibe wurde gesucht ihm parallel zu stellen. Um die Linien getrennt zu sehen, war es nöthig, den Kopf ein wenig nach der Seite zu neigen. Im Mittel aus 30 Versuchen betrug

der Kreuzungswinkel . . . . 0°,443
der wahrscheinliche Beobachtungsfehler . . . . . 0°,08

2. Versuchsreihe: Der rechte Durchmesser war horizontal gestellt, der linke wurde ihm parallel gestellt; sonst ebenso,

Kreuzungswinkel . . . . 0°,553
wahrscheinlicher Fehler . . . . 0°,11

3. Versuchsreihe: Der linke Durchmesser liegt horizontal, der rechte wird so eingestellt, dafs er beim Decken mit ihm eine möglichst feine Linie darstellt. Wieder im Mittel aus 30 Versuchen

Kreuzungswinkel . . . . 0°,397
wahrscheinlicher Fehler . . . . 0°,13

702 4. Versuchsreihe: Ebenso, nur ist der rechte Durchmesser festgestellt, der linke wird bewegt,

Kreuzungswinkel . . . . 0°,467
wahrscheinlicher Fehler . . . . 0°,14

5. Versuchsreihe: Links ein horizontal gerichteter Radius; der Radius der rechten Scheibe wird so gestellt, dafs er mit jenem eine gerade Linie zu bilden scheint. Im Mittel aus 30 Versuchen

Kreuzungswinkel . . . . 0°,46
wahrscheinlicher Fehler . . . . . . 0°,125

---

[1] A. W. Volkmann, *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Leipzig 1864, Heft 2, S. 206—208 und 222.

6. Versuchsreihe: Ebenso, nur liegt der rechte Radius fest, der linke ird gestellt.

Kreuzungswinkel . . . . 0°,463
wahrscheinlicher Fehler . . . . 0°,096

Man sieht, dafs diese Versuche alle nahe übereinstimmende Resultate geben, ämlich

1.	0°,443
2.	0°,553
3.	0°,397
4.	0°,467
5.	0°,460
6.	0°,463
Mittel:	0°,464.

Der Sinn dieser Abweichung ist ein solcher, dafs die äufsere Seite jedes etzhauthorizontes etwas tiefer liegt, als die innere.

7. Versuchsreihe: Endlich hat Volkmann noch Versuche angestellt, bei enen er nur eine Scheibe mit dem linken Auge betrachtete und den darauf zeichneten Durchmesser horizontal zu stellen suchte; dabei stellte er im Mittel on 30 Versuchen das linke Ende um 0°,203 zu tief.

8. Versuchsreihe: Ebenso, nur wurde das rechte Auge gebraucht. Das chte Ende des Durchmessers wurde um 0°,233 zu tief gestellt.

Die Summe beider Abweichungen 0°,203 + 0°,233 = 0°,436 entspricht hinichend genau dem oben gefundenen Kreuzungswinkel der Netzhauthorizonte.

Nach den Methoden der ersten vier Versuchsreihen fand Volkmann bei nigen andern Beobachtern den Kreuzungswinkel der Netzhauthorizonte, wie folgt

Professor H. Welcker . . . . . . 0°,72
Stud. med. Käherl . . . . 0°,26
Dr. Schweigger-Seidel . . . . . 0°,43.

Bei meinen eigenen Augen habe ich Versuche nach der Methode von Volkann's 5. und 6. Reihe angestellt und finde keine merkliche Abweichung der etzhauthorizonte, wenn ich vorher nur ferne Gegenstände angeblickt, oder durch ngere Fortsetzung der Versuche meine Gesichtslinien parallel erhalten habe. omme ich aber vom Lesen oder Schreiben, wobei meine Augen also convergirten, finde ich eine kleine Abweichung in demselben Sinne, wie Volkmann, und von chselnder Gröfse, die bei längerer Fortsetzung der Versuche wieder verschwindet.

Herr Dr. Dastich, dessen linkes Auge normalsichtig, das rechte kurzsichtig , fand eine Abweichung von 0°,31.

Was nun die vermuthliche Entstehungsweise dieses Identitätsverhält- 703
sses der horizontalen Meridiane betrifft, so müssen wir beachten, dafs wir i Fixation eines bestimmten Objectpunktes in denjenigen beiden Merinen der Sehfelder und der Netzhäute, welche mit der Visirebene zusammenlen, immer eine Reihe von Bildern derselben Objectpunkte finden rden, wie auch übrigens die Schnittlinie der Visirebene mit der Oberfläche s Objects verlaufen möge. Für alle anderen Meridiane dagegen wird das

Verhältnifs, je nach der Lage und Form des Objects sehr wechseln. Geh zum Beispiel durch den Fixationspunkt eine gerade senkrechte Linie, s werden deren Bilder in die senkrechten Meridiane der Sehfelder und au die entsprechenden Netzhautpunkte fallen. Ist die gesehene Linie obe gegen den Beobachter hingeneigt, so fallen ihre Bilder in zwei nach obe convergirende Meridiane der Sehfelder; entfernt sie sich dagegen nach obe hin von dem Beobachter, so wird sie in zwei nach oben divergirende Meridianen erscheinen. So ist es also mit Ausnahme der in der Visireben gelegenen Meridiane für jeden andern Meridian je eines Auges von der Forr und Lage des gesehenen Objects abhängig, welcher Meridian des ander Auges die Bilder der auf jenem abgebildeten Objectpunkte empfängt. Nu die in der Visirebene liegenden Meridiane enthalten entsprechende Bilde unabhängig von der Form und Lage der Objecte.

Nun können allerdings bei verschiedenen Richtungen der Augen ve schiedene Netzhautmeridiane in die Visirebene fallen. Wir dürfen abe wohl voraussetzen, dafs bei natürlicher Lebensweise des Menschen, wen nicht zu anhaltend einseitige Beschäftigungen mit bestimmter Haltung de Körpers und der Augen eingeschlagen werden, die Augen sich überwiegen oft in oder nahe der Primärlage befinden, und dafs also diejenigen Netzhau meridiane, die in der Primärstellung der Augen mit der Visirebene zu sammenfallen — das sind aber die Netzhauthorizonte —, unter allen ander am häufigsten entsprechende Bilder empfangen und daher für sie die Ge wöhnung gleicher Raumprojection sich ausbildet.

Ueberwiegende Beschäftigung mit nahen Gegenständen, die mit nac unten gerichteten convergirenden Blicken betrachtet werden, würde dagege das Auftreten einer solchen Abweichung, wie sie Volkmann an sich un anderen beobachtet hat, bedingen können, denn bei einer solchen Richtun des Blickes rücken wirklich seine Netzhauthorizonte in die Visirebene.

3. **Die zu den Netzhauthorizonten scheinbar verticalen Meri diane decken sich.** Es ist schon oben auf Seite 687 hervorgehobe worden, dafs diejenigen Meridiane der Sehfelder, welche für das Augenmaa einen scheinbar richtigen rechten Winkel mit den Netzhauthorizonten bilde in Wahrheit mit ihrem oberen Ende etwas nach aufsen geneigt sind. Liege also die Netzhauthorizonte in der Visirebene, so divergiren die scheinba verticalen Meridiane etwas nach oben und convergiren nach unten. Dies selben scheinbar verticalen Meridiane, welche also in den beiden Sehfelder scheinbar dieselbe Lage gegen den Fixationspunkt und Netzhauthorizon haben, zeigen sich als correspondirend in dem binocularen Gesichtsfelde.

Den Kreuzungswinkel der correspondirenden scheinbaren Verticallinie kann man nach denselben Methoden finden, wie den der Netzhauthorizont
704 ausgenommen diejenige, wobei die Linien zum Decken gebracht werde Dabei verschmelzen nämlich zwei einander ähnlich gefärbte Linien zu leich zu einem stereoskopischen Gesammtbilde, selbst wenn sie noch ziemlic disparate Richtungen haben. Man kann dies aber vermeiden, wenn ma

den beiden Linien ganz verschiedene Färbung giebt, zum Beispiel einen weifsen Faden auf schwarzem Grund mit einem schwarzen auf weifsem combinirt. Die sichersten und übereinstimmendsten Urtheile bei solchen Vergleichungen habe ich schliefslich bei folgender Methode gewonnen.

An einer senkrechten hölzernen Tafel wird ein Blatt schwarzen Papiers ausgespannt und auf diesem neben einander befestigt erstens ein rother 3 Millimeter breiter und von zwei parallelen geraden Rändern begrenzter Papierstreifen, und zweitens ein blauer Faden. Beide erhalten nahehin senkrechte Richtung, nach oben ein wenig divergirend, und solche Entfernung von einander, dafs ihr Abstand in der Höhe der Augen des Beobachters dem Abstande dieser Augen gleich ist. Der Papierstreifen wird mit beiden Enden festgesteckt, der Faden mit dem oberen Ende; sein unteres ist durch ein kleines Gewicht gespannt. Das untere Ende des Fadens schiebt man so viel, als nöthig, mit einer Nadel zur Seite, die man schliefslich fest sticht, wenn der Faden die richtige Lage hat. Man blickt nun nach dem Faden und Streifen mit parallelen Gesichtslinien, so dafs der blaue Faden auf der Mitte des rothen Streifens erscheint, und verschiebt den Faden so lange, bis er in seiner ganzen Länge genau auf der Mitte des Streifens zu liegen scheint. Dann steckt man die Nadel fest. Indem man die Entfernung des Fadens vom Streifen am oberen und unteren Ende abmifst, und auch den verticalen Abstand der gemessenen Punkte, kann man den Winkel, den ihre Richtungen machen, leicht bestimmen.

Der obige Satz ergiebt sich am directesten, wenn man in der beschriebenen Weise die Abweichung der horizontalen und verticalen Decklinien bestimmt und aufserdem die Winkel, welche die zu einer Horizontallinie scheinbar normal gerichteten Linien mit jener machen. Solche Bestimmungen hat Herr Dr. Dastich in meinem Heidelberger Laboratorium ausgeführt und folgende Werthe gefunden:

Winkel zwischen den scheinbar verticalen Decklinien:	2° 40′
Winkel zwischen den Netzhauthorizonten:	0° 18′
Differenz	2° 22′.

Derselbe fand die Abweichung vom rechten Winkel

für sein rechtes Auge	1° 12′
für sein linkes Auge	1° 21′
Summe:	2° 33′.

Die Differenz der ersten beiden Winkel, im Betrag von 2° 22′, ist der Winkel, den die scheinbar verticalen Meridiane mit einander bilden würden bei einer Stellung der Augen, wo die Netzhauthorizonte in die Visirebene fallen. Sie ist der Summe 2° 33′ so nahe gleich, als die Genauigkeit solcher Versuche erwarten läfst. Das heifst also, die scheinbar verticalen Decklinien unterscheiden sich nicht merklich von denjenigen Linien, die nach dem Augenmaafs normal zu den Netzhauthorizonten scheinen.

705 Dasselbe geht übrigens auch indirect aus VOLKMANN's Versuchen hervor. Derselbe hat nämlich aufser den schon erwähnten Versuchen, einen monocular gesehenen Durchmesser seiner Scheiben horizontal zu stellen (7. und 8. Versuchsreihe), auch Versuche gemacht, ihn vertical zu stellen, wobei er also die absolut verticale Richtung einzuhalten suchte, nicht die normale gegen eine horizontale sichtbare gerade Linie. Da indessen schon oben bemerkt ist, dafs die Netzhauthorizonte ihm absolut horizontal erschienen unter den Umständen des Versuchs, so folgt, dafs ihm die hier bestimmten scheinbar verticalen Richtungen auch normal zu den Netzhauthorizonten erscheinen mufsten.

9. Versuchsreihe: Die Scheibe wird mit dem linken Auge betrachtet und der Durchmesser scheinbar vertical gestellt. Im Mittel von 30 Versuchen beträgt die Abweichung $1^0,307$.

10. Versuchsreihe: Ebenso mit dem rechten Auge; Abweichung im Mittel $0^0,82$.

Die Winkel zwischen den scheinbar verticalen Decklinien hat er nach denselben Methoden bestimmt, wie für die horizontalen, und folgende Zahlen erhalten

Methode	Mittelwerth	Wahrscheinlicher Fehler.
der Versuchsreihe 1	$2^0,23$	$0^0,16$
„ „ 2	$2^0,06$	$0^0,07$
„ „ 5	$2^0,16$	$0^0,22$
„ „ 6	$2^0,14$	$0^0,21$
Gesammtmittel:	$2^0,15$	

Nun ist die Summe der Abweichungen der jedem einzelnen Auge normal erscheinenden Linien:

$$1^0,307 + 0^0,82 = 2^0,127$$

der Abweichung der Decklinien von einander so nahehin gleich, dafs daraus folgt, die für das Augenmaafs in jedem Sehfelde vertical erscheinenden Linien seien auch Decklinien, und dies entspricht wieder unserem Satze.

Auf VOLKMANN's Veranlassung wiederholte SCHWEIGGER-SEIDEL die Versuche. Die Abweichung der scheinbar verticalen Linie von der wirklich Verticalen fand er für das linke Auge gleich $0^0,663$, für das rechte Auge gleich $0^0,657$. Die Summe beider Gröfsen ist $1^0,32$. Damit nahe übereinstimmend, fand sich der Winkel zwischen den beiden scheinbar verticalen Decklinien bei ihm gleich $1^0,44$.

VOLKMANN hat endlich auch Versuchsreihen noch in der Weise angestellt, dafs der Diameter der einen Scheibe horizontal lag und er den der andern im binocularen Gesammtbilde senkrecht zu jenem zu stellen suchte. Auch diese Versuche zeigen gute Uebereinstimmung mit den früheren und mit dem oben hingestellten Satze, dafs die scheinbar verticalen Meridiane Decklinien seien, und dieser Satz ist wieder ein Fall des oben hingestellten allgemeineren, dafs Linien, die in den monocularen Sehfeldern scheinbar gleiche Lage haben, Decklinien sind. Nachdem nämlich festgestellt ist, dafs die Netzhauthorizonte Decklinien sind, müssen die zu ihnen und dem Fixationspunkt scheinbar gleiche Lage habenden scheinbaren Verticalen auch Decklinien sein.

Der Winkel der scheinbaren Verticallinien hat bei normalsichtigen Augen, wie es scheint, immer ziemlich dieselbe Gröfse von etwa $2^1/_2$ Grad; bei kurz-

sichtigen Augen habe ich ihn meist viel kleiner gefunden. Auch E. HERING, der kurzsichtig ist, hat ihn für seine Augen beinahe gleich Null gefunden.

In den theoretischen Untersuchungen über das monoculare Gesichtsfeld fanden wir, dafs die dort betrachteten Vorgänge bei der Ausbildung des Augenmaafses für diesen Winkel keine bestimmte Gröfse ergaben, ihn vielmehr unbestimmt liefsen. Gründe, die seine Gröfse zu bestimmen scheinen, werden wir weiter unten in der Lehre vom Horopter finden. 706

4. In den scheinbar verticalen Decklinien sind Punkte, welche gleich weit von den Netzhauthorizonten abliegen, Deckpunkte. Auch hierüber liegen genaue Versuche von VOLKMANN vor. Jedes Auge hatte ein rechtwinkeliges Kreuz vor sich, gebildet aus der Horizontalen aa', *Fig. 245*, und den Senkrechten s und s', deren Abstand dem der Augen

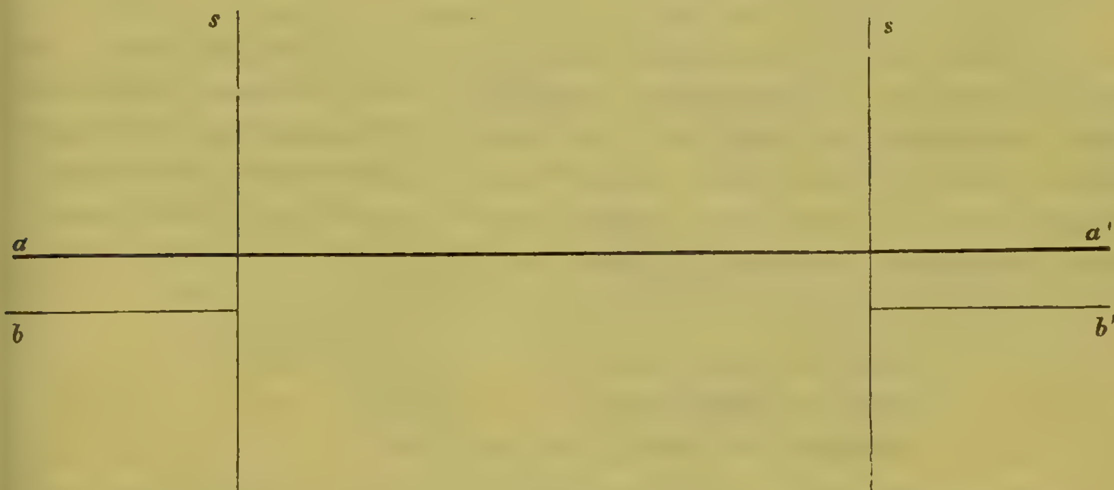


Fig. 245.

des Beobachters gleich zu machen ist. Unterhalb der Horizontallinie und nach aufsen von der Verticallinie jedes Kreuzes war eine zweite Horizontallinie b und b' gezogen, von denen die eine b fest, die andere b' beweglich war, so dafs sie sich selbst parallel verschoben werden konnte. Der Beobachter fixirte die Mittelpunkte beider Kreuze mit parallelen Gesichtslinien, so dafs sie sich scheinbar deckten, und verschob dann die bewegliche Horizontallinie b' so lange, bis sie scheinbar die genaue Fortsetzung der festen Horizontallinie b im anderen Sehfelde bildete.

Im Mittel aus je 30 Versuchen erhielt er den Abstand der beweglichen Horizontallinie

Bewegliche Horizontale rechts	5,51	Millimeter
Bewegliche Horizontale links	5,47	„
Abstand der festen Horizontale	5,50	„

Der Abstand der Linien von den Augen war 300 Millimeter, die Differenzen zwischen den beiden verglichenen Gröfsen liegen unter der Grenze der wahrnehmbaren Abstände.

Um eine feste Uebung in der Vergleichung verticaler Distanzen zwischen beiden Sehfeldern zu erlangen, sind die Verhältnisse des natürlichen Sehens besonders günstig. So oft nämlich der Fixationspunkt in der Medianebene des Körpers liegt, der Blick also geradeaus gerichtet ist, können oberhalb und unterhalb des Fixationspunktes liegende Objectpunkte zwar beiden Augen in etwas disparaten Meridianen erscheinen, aber ihr Winkelabstand vom Fixationspunkte wird immer in beiden Sehfeldern derselbe sein müssen,
707 auch wenn jene Punkte dem Auge beträchtlich näher oder ferner liegen, als der fixirte Punkt; und es wird defshalb, so oft wir geradeaus blicken, Gelegenheit gegeben sein, Erfahrungen zu machen, welche verticale Dimensionen des einen Sehfeldes denen des andern entsprechen. Dem entsprechend werden wir später finden, dafs vertical übereinander liegende Doppelbilder besonders leicht erkannt werden.

5. I n d e n N e t z h a u t h o r i z o n t e n s i n d s o l c h e P u n k t e, w e l c h e g l e i c h w e i t v o m F i x a t i o n s p u n k t a b l i e g e n, D e c k p u n k t e. Volkmann hat hierüber Versuchsreihen angestellt nach ähnlicher Weise wie die zuletzt erwähnten, nur dafs statt der festen und beweglichen Horizontallinie rechts von der Verticallinie jedes Kreuzes eine zweite Verticallinie angebracht war, die eine fest oberhalb der Horizontallinie des Kreuzes, die andere beweglich darunter. Wieder im Mittel von je dreifsig Versuchen fand sich der Abstand der beweglichen Verticallinie,

wenn sie rechts lag, ...	5,24 Millimeter,
wenn sie links lag, ...	5,21 „
Abstand der festen Verticale	5,20 „

Die Unterschiede sind hier also wieder kleiner, als die kleinsten wahrnehmbaren Gröfsen. Volkmann machte also auch diese Bestimmung mit sehr grofser Genauigkeit.

Ich selbst finde diese Art des Einstellens sehr viel schwerer, als die von horizontalen Linien, weil bei mir eine scheinbare stereoskopische Vereinigung der Verticallinien des Kreuzes, welche fixirt werden sollen, eintritt auch wenn meine Blicklinien etwas mehr convergiren oder divergiren, als zur genauen Vereinigung nöthig ist; und dabei schwanken dann die seitlichen Verticallinien hin und her, so dafs ich nach Belieben bald die eine bald die andere der fixirten Verticallinien näher sehen kann. Sicherer gelingt mir der Versuch, wenn auch von den fixirten Verticallinien die eine nur oberhalb, die andere nur unterhalb der Horizontalen gezogen ist.

Die Vergleichung horizontaler Distanzen in beiden Sehfeldern kann im Allgemeinen nur dann ein constantes Resultat geben, wenn sie an unendlich entfernten Objecten, des irdischen Horizontes zum Beispiel, angestellt wird. Die Entfernung zweier Punkte des Horizontes in den Bildern beider Sehfelder mufs allerdings immer die gleiche sein, und durch Vergleichung solcher Bilder werden wir lernen können, welche horizontale Strecken in beiden Sehfeldern (beziehlich auf beiden Netzhäuten) gleich grofs sind. An

allen näheren Gegenständen werden nur ausnahmsweise zwei horizontal neben einander gelegene Objectpunkte in beiden Sehfeldern unter gleichem Distanzwinkel erscheinen, wegen der Verschiedenheit ihrer perspectivischen Projectionen. Dem entsprechend finden wir auch, dafs horizontal neben einander liegende Doppelbilder viel leichter verschmelzen und schwerer als doppelt erkannt werden, als vertical über einander liegende. Dennoch reicht, wie Volkmann's Versuche zeigen, unter günstigen Bedingungen und bei sehr häufiger Wiederholung der Versuche die vorhandene Uebung in der Vergleichung beider Sehfelder aus, um die Gleichheit oder Ungleichheit zweier solcher Distanzen ziemlich genau und richtig zu erkennen. Es kommt freilich noch hinzu, dafs wegen der symmetrischen Anordnung beider Augen 708
keine unsymmetrische Vertheilung der Fehler zwischen beiden Augen eintreten kann. Wenn a und a_1 zwei gleiche Strecken in den äufseren Hälften beider Sehfelder sind, b und b_1 gleich grofse auf den inneren Hälften, so ist wegen der Symmetrie der Augen kein Grund vorhanden a für gröfser oder kleiner als a_1, und b für gröfser oder kleiner als b_1 zu halten. Da wir ferner durch das Augenmaafs richtig erkennen, dafs $a = b$, und dafs $a_1 = b_1$, so werden wir auch richtig erkennen, dafs die Decklinien $a = b_1$ und $b = a_1$ sind.

Nachdem wir festgestellt haben, welche Richtungen in beiden Sehfeldern, beziehlich auf beiden Netzhäuten, als scheinbar horizontale Decklinien sich entsprechen, welche als verticale Decklinien, welche Längen auf den ersteren und welche auf den letzteren gleich grofs erscheinen, so sind die nöthigen Stücke gegeben, um die scheinbare Lage aller Punkte des einen monocularen Gesichtsfeldes mit denen des andern vergleichen zu können. Von einer genauen Vergleichung der Lage der Doppelbilder kann, wie schon oben hervorgehoben wurde, nur in den mittleren Theilen der Sehfelder die Rede sein, da an ihren peripherischen Theilen sowohl die Erkennung der Deckstellen, wie auch die Abmessung der Distanzen durch das Augenmaafs zu unsicher ist. Wir werden also den bei unserer vorliegenden Untersuchung in Betracht kommenden mittleren Theil jedes Sehfeldes als eine Ebene ansehen können.

Es sei in *Fig. 246* (S. 856) o der Fixationspunkt des rechten Auges in der Fläche des Papiers, o' der des linken Auges; ak sei die scheinbare horizontale, bl die scheinbar verticale Linie für jenes, $a'k'$ und $l'b'$ seien dieselben beiden im andern Sehfelde. Es seien ferner $co = c'o'$ gleiche Längen auf den beiden scheinbar verticalen Linien abgeschnitten, dann erscheinen auch beide Linien gleich lang und c und c' sind Deckpunkte. Ebenso seien $do = d'o'$ gleiche Längen auf den scheinbaren Horizontalen. Durch c denke man eine Parallele ef mit ak, durch c' ebenso eine Parallele $e'f'$ mit $a'k'$ gelegt. Jeder Punkt von f mufs nicht blos wirklich, sondern auch scheinbar gleich grofsen Abstand von ak haben wie c, da die Abstände von parallelen Linien durch das Augenmaafs richtig und genau verglichen werden können. Ebenso mufs jeder Punkt von $e'f'$ scheinbar den gleichen Abstand von $a'k'$ 709

haben wie c', und da die scheinbaren Abstände des Punktes c von der Linie ak und des Punktes c' von der Linie $a'k'$ als gleich vorausgesetzt sind, so müssen die Linien ef und $e'f'$ in beiden Sehfeldern erscheinen als Horizontallinien, die gleichen Abstand von den sich deckenden Netzhauthorizonten haben, und müssen also selbst Decklinien sein, wenn der oben vorangestellte Satz richtig ist, dafs alle Punkte, welche in beiden Sehfeldern scheinbar gleiche Lage haben, Deckpunkte seien.

Ebenso folgt, dafs die Linien gh und $g'h'$ Decklinien sind, und schliefslich, dafs die Punkte m und m', in denen sich ef mit gh und $e'f'$ mit $g'h'$ schneidet, Deckpunkte sind.

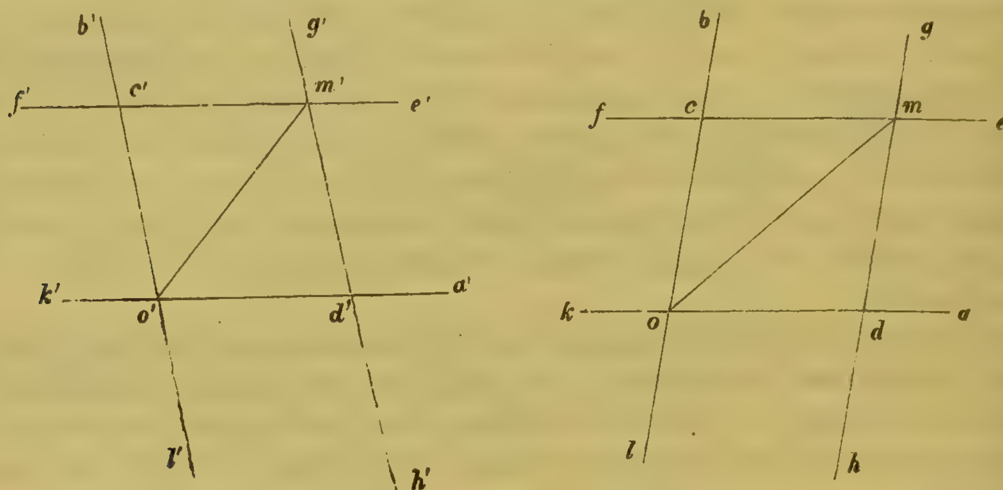


Fig. 246.

Diese Schlüsse zusammengefafst kann man so aussprechen, dafs unter Voraussetzung der Gültigkeit des mehrerwähnten Grundsatzes diejenigen Punkte beider Sehfelder Deckpunkte sind, welche gleiche und gleich gerichtete Abstände von den scheinbar horizontalen und scheinbar verticalen Decklinien haben.

Um diesen Satz an der Erfahrung zu prüfen, kann man die stereoskopischen Figuren *D*, *Taf. IV*, gebrauchen. Um eine zu leichte Verschmelzung correspondirender Linien zu verhindern, ist die rechte Seite mit weifsen Linien auf schwarzem Grunde, die linke mit schwarzen Linien auf weifsem Grunde gezeichnet. Die Figuren sollen mit parallelen Blicklinien angesehen werden, so dafs beide sich im gemeinsamen Gesichtsfelde scheinbar decken. Wer dies nicht erreichen kann, brauche das Stereoskop. Die rechte Seite bildet für mein rechtes Auge, die linke für mein linkes ein scheinbar genau rechtwinkeliges Gitter; ich hoffe, dafs dies für die meisten normalsichtigen Leser der Fall sein wird. Andernfalls mufs jeder Beobachter sich ähnliche Figuren für seine Augen passend zeichnen, so dafs sowohl die horizontalen wie auch die verticalen Linien der einen Figur mit den entsprechenden der andern denjenigen Winkel bilden, welcher nöthig ist, damit sie bei paralleler Blickrichtung zur Deckung gebracht werden können. Der Abstand der Mittel-

unkte beider Figuren ist gleich dem Abstande der Augenmittelpunkte des eobachters zu machen; die Abstände der horizontalen Linien von einander nd in beiden Figuren gleich zu machen, ebenso die Abstände der Verticalen on einander.

Fixire ich nun den Mittelpunkt des rechten Gitters mit dem rechten, en des linken Gitters mit dem linken Auge, so fallen in dem gemeinschaftchen Gesichtsfelde alle Linien des einen auf die entsprechenden des andern, as man leicht erkennen kann, da übrigens die schwarzen Linien der linken eite nicht leicht mit den weifsen der rechten Seite verschmelzen.[1]

Der Versuch, der mit der *Fig. D*, *Taf. IV*, ausgeführt ist, giebt uns n auch Aufschlufs darüber, wie correspondirende Punkte in beiden Augen finden sind. Man richte die Gesichtslinien parallel der Medianebene auf e beiden Mittelpunkte der genannten Figuren, deren Ebene selbst senkrecht r Gesichtslinie stehen soll, und denke sich durch die Horizontallinien der 710
guren und durch die Knotenpunkte der Augen Ebenen gelegt. Diejenigen benen, welche durch die mittlere Horizontallinie gehen, auf der der Fixationsnkt liegt, fallen unter diesen Umständen mit den Netzhauthorizonten beider ugen zusammen. Die anderen Ebenen schneiden sich unter einander und m Netzhauthorizont in einer zur Gesichtslinie normalen Horizontallinie, die r die Aequatorialaxe des Netzhauthorizontes nennen wollen. Den Winkel ischen einer der beschriebenen Ebenen und dem Netzhauthorizonte nennen r den Höhenwinkel der betreffenden Ebene. Für alle Punkte einer chen Ebene ist die scheinbare Höhe über der Visirebene gleich, wenn wir auf ein unendlich entferntes Gesichtsfeld projicirt denken; dem entsprechend nnen wir sie eine Ebene gleichen Höhenwinkels.

Ebenso denken wir uns Ebenen construirt durch jede der verticalen nien der Figuren und den Knotenpunkt des betreffenden Auges. Die mittlere rselben, welche den Fixationspunkt enthält, ist die Ebene des scheinbar rticalen Meridians und wird von sämmtlichen anderen Ebenen dieser Art einer zur Gesichtslinie normalen Linie geschnitten, welche wir die equatorialaxe des scheinbar verticalen Meridians nennen. Den nkel zwischen einer solchen Ebene und der Ebene des scheinbar verticalen ridians nennen wir Breitenwinkel, und zählen diesen in beiden Augen positiv nach rechts hin, negativ nach links. Die Ebenen, welche den eitenwinkel einschliefsen, selbst nennen wir Ebenen gleichen Breitenokels.

Nach Feststellung dieser Begriffe läfst sich die Lage identischer Punkte beiden Sehfeldern leicht finden. Man denke sich durch den betreffenden nkt des Gesichsfeldes und die Aequatorialaxen sowohl des Netzhauthorizonts

---

[1] Ein Beobachter, welcher durch die gröfsere Anzahl der Linien verwirrt zu werden fürchten sollte, Herr E. Hering, kann die entsprechenden Beobachtungen auch leicht an einer Reihe von einfacheren ensystemen ausführen, wie ich es übrigens selbst auch gethan habe, ehe ich mir die beschriebenen er construirt hatte. Ich hatte nicht geglaubt dies in meinem Aufsatze über den Horopter erwähnen nüssen, will es hier aber ausdrücklich hervorheben, da es Veranlassung zu kritischen Einwürfen ben hat.

als auch des scheinbar verticalen Meridians Ebenen gelegt, durch welche der Höhenwinkel und der Breitenwinkel für den betreffenden Punkt des Gesichtsfeldes gegeben wird. Identisch sind solche Punkte beider Gesichtsfelder, welche gleiche Höhenwinkel und gleiche Breitenwinkel haben.

Diese Definition identischer Punkte stützt sich auf einen direct auszuführenden Versuch. Denkt man sich die beiden Figuren, welche die Eintheilung des Gesichtsfeldes darstellen, zu unendlichen Ebenen erweitert, so erhält man die Abtheilungen der identischen Punkte bis zu 90° auf jeder Seite der Gesichtslinie. Dies genügt auch vollkommen für diesen Zweck, denn wenn auch das Gesichtsfeld jedes einzelnen Auges nach aufsen etwas weiter als 90° reicht, so ist das binoculare Gesichtsfeld doch viel kleiner, weil der Nasenrücken dem andern Auge diese äufsersten Theile des Feldes verdeckt. Uebrigens ist eine genaue Bestimmung der identischen Punkte durch den Versuch auch nur möglich für diejenigen Stellen beider Sehfelder, die dem Fixationspunkt ziemlich nahe liegen, denn in gröfserer Entfernung wird die Entscheidung darüber, welche indirect gesehene Gegenstände beider Gesichtsfelder sich decken, welche nicht, so aufserordentlich unbestimmt, dafs nur ganz erhebliche Differenzen der Doppelbilder überhaupt wahrgenommen werden können.

Es ist noch zu bemerken, dafs nicht auf allen correspondirenden Meridianen der Sehfelder die Deckpunkte gleichweit vom Blickpunkte entfernt sind, wie
711 dies von den scheinbar horizontalen und scheinbar verticalen Decklinien gilt. Wenn man in der *Fig. 246* von den Fixationspunkten o und o' die Diagonalen om und $o'm'$ nach den Deckpunkten m und m' zieht, so ist om länger als $o'm'$ und doch sind beides correspondirende Strecken auf correspondirenden Meridianen. Der genannte Unterschied ist klein.

Bezeichnet man die Strecken

$$md = co = m'd' = c'o' \text{ mit } a$$

und

$$mc = od = m'c' = o'd' \text{ mit b}$$

und die Abweichung der beiden Winkel cod und $c'o'k'$ von 90° mit ε, so sind die correspondirenden Längen

$$mo = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \sin \varepsilon}$$

$$m'o' = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \sin \varepsilon}.$$

Relativ am gröfsten wird dieser Unterschied, wenn $a = b$; dann werden nämlich diese Längen

$$mo = 2a \cos\left(45^0 - \frac{\varepsilon}{2}\right) \text{ und } m'o' = 2a \cos\left(45^0 + \frac{\varepsilon}{2}\right).$$

Wenn $\delta = 1^0\, 13'$, wie für meine Augen, so ist das Verhältnifs dieser beiden Gröfsen wie 1 : 1,0215, oder wie 47 : 48. Um diesen Unterschied zu

beobachten, habe ich das Liniensystem der *Fig. 247* angewendet. Das rechte Auge fixirt a', das linke a, die Linien ac und $a'c'$ fallen dann im binocularen Bilde scheinbar in eine zusammen, ebenso ab und $a'b'$. Die Linie fg ist auf einen andern Papierstreifen gezogen, der um den entfernten Punkt g drehbar ist. Man sucht nun, während man a und a' streng fixirt, gf so einzustellen, dafs sie als Fortsetzung der Linie ed erscheint. Dann fand sich, dafs ich $a'f$ etwa gleich 19,5 Millimeter machte, während ad 20 Millimeter betrug. Man mufs natürlich gleichzeitig genau darauf achten, dafs ac und $a'c'$ als eine ununterbrochene Linie erscheinen. Der Unterschied, um den es sich hier 712
handelt, liegt ziemlich an der Grenze des Wahrnehmbaren.

Ich finde, dafs die zuletzt erwähnten Unterschiede sich auch merklich machen, wenn ich zwei Systeme concentrischer Kreise, das linke mit schwarzen Linien auf weifsem Grund gezeichnet, das rechte mit weifsen Linien auf

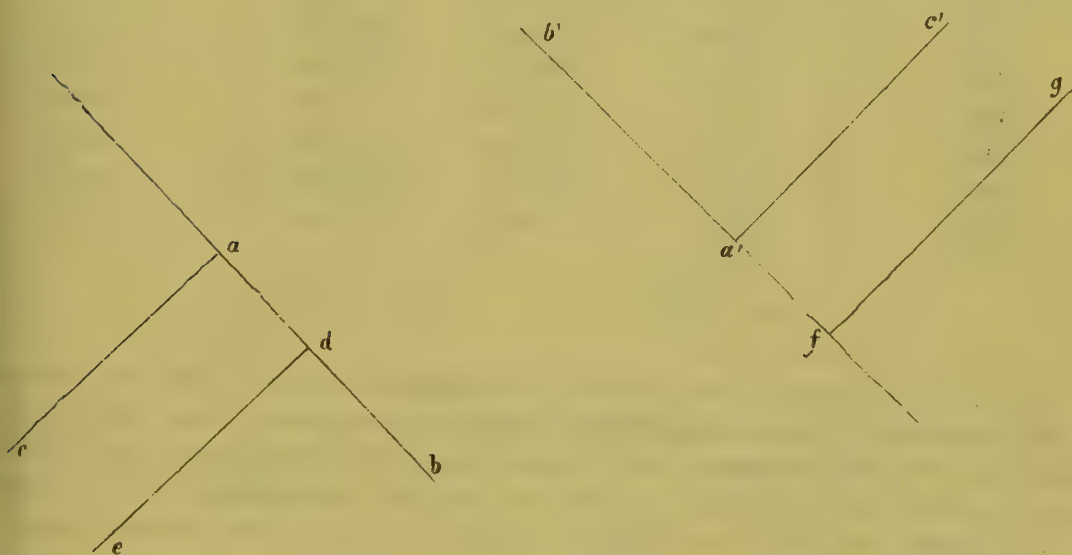


Fig. 247.

schwarzem Grunde ausgeführt, wie *O, Taf. VI,* bei fester Fixation ihrer Mittelpunkte mit parallelen Gesichtslinien zum Decken bringe. Dann decken sich die weifsen und schwarzen Linien wirklich in dem verticalen und horizontalen Meridian; aber in den schräg liegenden Meridianen fallen sie neben einander, und zwar nach oben rechts und unten links die schwarzen nach aufsen, dagegen oben links und unten rechts die weifsen. Der nach oben rechts gerichtete Radius des rechten Feldes müfste nämlich länger gemacht werden, als der nach oben rechts gerichtete Radius des linken Feldes, um ihm gleich zu erscheinen. Folglich erscheint jener kürzer, dieser länger.

Es ergiebt sich aus der oben hingestellten Betrachtungsweise auch ein Gesetz für die Gröfse derjenigen Winkel, welche verschieden gerichtete Decklinien mit einander machen. Die Berechnung, welche unten nachzusehen ist, ergiebt für die Winkeldifferenz $\varDelta$ zweier correspondirender Meridiane bei parallelen Blicklinien den Ausdruck

$$\varDelta = \gamma + 2\varepsilon \sin^2\beta,$$

worin γ der Winkel zwischen den Netzhauthorizonten in der betreffend Augenstellung, 2ε der Winkel zwischen den scheinbar verticalen Meridiane und β der Mittelwerth des Winkels ist, den die beiden zu vergleichend Decklinien mit ihren Netzhauthorizonten bilden.

Eine Reihe von Messungen, welche VOLKMANN über die Winkel zwisch correspondirenden Meridianen angestellt hat,[1] machen eine Vergleichung dies Formel mit der Erfahrung möglich. In der folgenden Tabelle sind die Constant γ und ε der obigen Formel nach der Methode der kleinsten Quadrate aus d gesammten Beobachtungen bestimmt worden.

Kreuzungswinkel correspondirender Meridiane für VOLKMANN's Auge

Neigung gegen die Verticale $90^0-\beta$	Kreuzungswinkel beobachteter Mittelwerth	wahrscheinlicher Fehler	berechnet	Differenz zwischen Beobachtung und Rechnung
0°	2°,15	0°,106	2°,166	— 0,016
15°	1°,99	0°,064	2°,062	— 0,072
30°	1°,78	0°,195	1°,781	— 0,001
45°	1°,51	0°,075	1°,397	+ 0,113
60°	1°,15 [2]	0°,114	1°,013	+ 0,137
75°	0°,81	0°,084	0°,732	+ 0,078
90°	0°,46 [3]	0°,062	0°,628	— 0,168

$\gamma = 0^0{,}628 \qquad 2\varepsilon = 1^0{,}5375$

Die wahrscheinlichen Fehler des Beobachtungsmittels sind aus den von VOLKMA für die einzelnen Reihen angegebenen Werthen berechnet. Man sieht, dafs
713 Abweichung zwischen Rechnung und Beobachtung im Allgemeinen nicht gröfser i als die wahrscheinlichen Fehler, welche bei solchen Beobachtungsreihen vorkomme und wir dürfen die Uebereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtungen w für befriedigend ansehen.

Nachdem wir die Lage der Deckpunkte in den beiden Sehfeldern bestim haben, können wir dazu übergehn, die Lage derjenigen Punkte des äufser Raumes zu bestimmen, welche sich auf correspondirenden Stellen beider Net häute abbilden und defshalb einfach gesehen werden. Man nennt d Inbegriff dieser Punkte den Horopter. Derselbe ist im Allgemeinen ei Curve doppelter Krümmung, welche als die Schnittlinie zweier Flächen zweit Grades (Hyperboloide mit einer Mantelfläche, Kegel oder Cylinder) angeseh werden kann. Die Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades ist im A gemeinen vom vierten Grade, das heifst, kann von einer Ebene in je vi Punkten geschnitten werden. In dem hier vorliegenden Falle haben ab die beiden schneidenden Flächen eine gerade Linie gemein, welche nic Horopter ist, und der Rest der Schnittlinie ist eine Curve dritt

[1] Versuch 100 bis 112 im zweiten Hefte seiner *Physiologischen Untersuchungen im Gebiete der Op* S. 202—213.
[2] Bei VOLKMANN, S. 213, ein Rechnungsfehler.
[3] Mittel aus den beiden Versuchsreihen 106 und 107.

Grades, das heifst eine solche, welche von einer beliebigen Ebene nur in drei Punkten geschnitten werden kann. Diese Curve hat die bemerkenswerthe Eigenschaft, dafs wenn man durch irgend einen festen Punkt derselben einerseits und durch alle andern Punkte der Curve andererseits gerade Linien legt, diese Linien einen Kegel zweiten Grades bilden. Wählt man als Spitze des Kegels einen unendlich entfernten Punkt der Curve (dieselbe läuft nämlich mit mindestens zwei Aesten in das Unendliche hinaus), so wird der Kegel ein Cylinder, dessen Basis eine Curve zweiten Grades ist. Um eine Anschauung von der Gestalt einer solchen Curve dritten Grades zu geben, können wir uns dieselbe auf eine Cylinderfläche gezeichnet denken und die Cylinderfläche in die Ebene abgerollt.

Die ausgezogene Curve *eabcf* der *Fig. 248* würde dann die Form der Curve darstellen. Man denke sich das Papier zu einem Cylinder mit kreis- 714

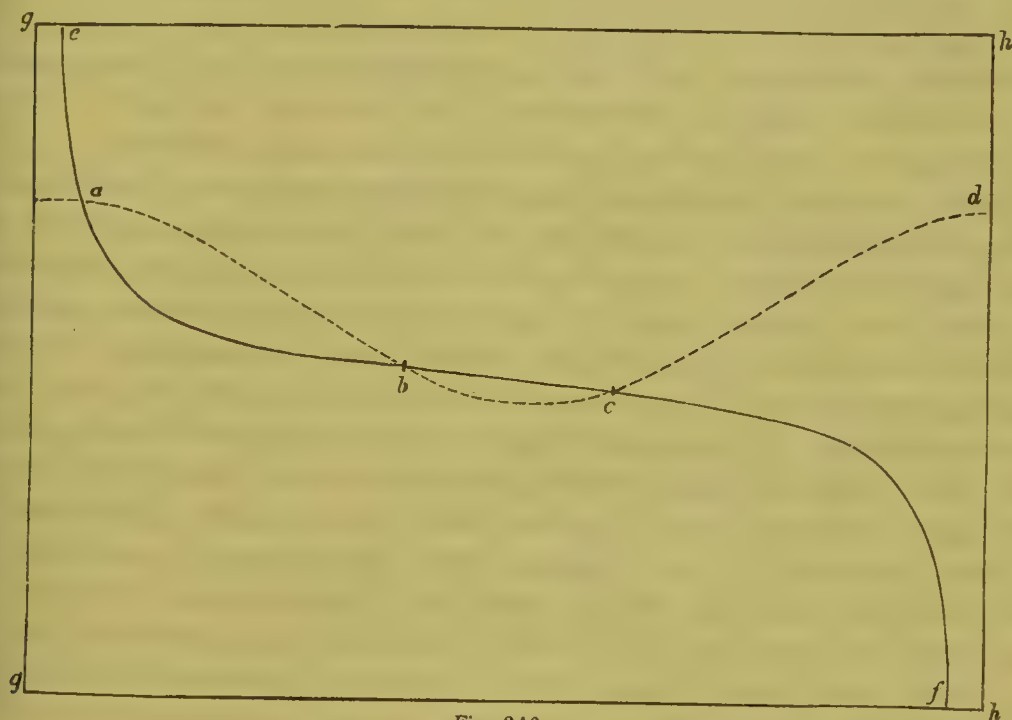


Fig. 248.

miger Basis zusammengerollt, so dafs die Linien gg und hh aufeinander en, so würde die gezeichnete Curve die Form einer Curve dritten Grades alten. Die punktirte Curve bezeichnet die Schnittlinie einer Ebene (zum ispiel der Visirebene) mit dem Cylinder. Von dieser Ebene wird die rve dritten Grades in drei Punkten a, b, c geschnitten. An zwei Stellen nd f läuft die Curve in das Unendliche aus, indem sie sich asymptotisch geraden Linie gg oder der damit identischen hh nähert.

Betrachten wir die Curve dritten Grades als Horoptercurve, so mufs diebe durch die Mittelpunkte der Visirlinien beider Augen gehen. Es seien nd c die Orte der beiden Augen, a der Fixationspunkt. Dann fällt das ck der Curve, welches zwischen ihnen liegt, nämlich bc zwischen beide

Augen in das Innere des Kopfes und kann nicht als Theil des Horopte (wenigstens nicht nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche, dem die ob gegebene Definition entspricht) angesehen werden, weil Punkte dieses Theil wenn sie Strahlen aussenden und diese wirklich in beide Augen fallen könnte sich auf den beiden äufseren, also nicht correspondirenden Netzhauthälft abbilden würden; wie denn überhaupt die ganze Bestimmung des Horopte für die den Augen sehr nahe gelegenen Raumpunkte, von denen sie n breite Zerstreuungsbilder bilden können, alle praktische Bedeutung verlie Der Horopter, als solcher, besteht dann also aus zwei vollkommen getrennt Zweigen, *eb* und *fc*, aus denjenigen beiden Stücken der Curve dritt Grades, welche zwischen den Augen und Unendlich liegen. Da es für d mathematische Behandlung bequemer ist, die Curve dritten Grades in ihre ganzen Zusammenhang zu betrachten, wollen wir sie die Horoptercur nennen und den Namen des Horopters oder Punkthoropters für di jenigen Stücke derselben bewahren, welche einfach gesehen werden. In d Horoptercurve schneiden sich also correspondirende Visirlinien, aber ba beide mit ihren vorderen Abschnitten, bald die eine nur mit der hinter Verlängerung; wo das letztere geschieht, ist sie nicht Horopter.

Unter gewissen Bedingungen kann die Horoptercurve sich übrigens ihr geraden Asymptotenlinie *gg* und der zu einer ebenen Curve zweiten Grad zusammengelegten Linie *ad* so weit nähern, dafs sie mit ihnen zusammenfäll Dann besteht die Horoptercurve also aus einer geraden Linie und einer eben Curve zweiten Grades, die sich in einem Punkte schneiden. Die beid getrennten Zweige der Horoptercurve sind dann in diesem Schnittpunk zusammengestofsen. Es geschieht dies, so oft die beiden Netzhauthorizon gleiche, aber nach entgegengesetzten Seiten gekehrte Winkel mit der Visi ebene bilden, während der Fixationspunkt in endlicher Entfernung lieg und diese Bedingung ist bei Augen, deren Bewegungen dem Listing'sche Gesetze folgen, wiederum erfüllt, wenn der Fixationspunkt entweder in d Medianebene des Kopfes, oder in der Primärlage der Visirebene liegt. I ersten Falle liegt der Fixationspunkt auf der geraden Horopterlinie, i zweiten auf dem Kegelschnitt, der unter dieser Bedingung ein Kreis wir J. Müller's Horopterkreis. Und endlich wenn der Fixationspunkt sowohl der Medianebene des Kopfes, als auch in der Primärlage der Visirebe
715 liegt, so schneiden sich in ihm die gerade Horopterlinie und der Krei Genauere Contructionsmethoden für die Lage der Horopterlinien werde unten mit der mathematischen Theorie des Horopters gegeben werden.

In einem einzigen Falle ist der Horopter eine Fläche, und zwar ei Ebene, wenn nämlich der Fixationspunkt in der Medianebene in unendlich Entfernung liegt und die Netzhauthorizonte, wie es bei normalsichtigen Aug mindestens sehr angenähert zu sein pflegt, dabei in der Visirebene liege Diese Horopterebene ist dann der Visirebene parallel; ihre Entfernung v dieser hängt ab von der Gröfse der Divergenz der scheinbar verticale Meridiane beider Sehfelder; sie geht nämlich durch die Schnittlinie d

genannten beiden Meridianebenen und pflegt für normalsichtige Augen, die geradeaus gegen den Horizont gerichtet sind, mit der Fufsbodenebene des stehenden Beobachters nahehin zusammenzufallen, während sie bei kurzsichtigen meist in gröfserer Entfernung liegt.

Die Entfernung der Mittelpunkte meiner Augen von einander ist 68 Millimeter, ihre Höhe über dem Boden 1660. Legt man durch ihre Mittelpunkte und die Medianlinie des Fufsbodens Ebenen, so schneiden sich diese unter einem Winkel von 2° 20′ 48″; der Winkel zwischen meinen scheinbar verticalen Meridianen beträgt 2° 22′. Bei Herrn Dr. Knapp, welcher normalsichtig ist, beträgt die Augendistanz 62,5, die Höhe der Augen über dem Boden 1627 Millimeter. Dies entspricht einem Winkel von 2° 14′ 20″. Die Beobachtung ergab im Mittel 2° 8′. Bei Herrn Professor Volkmann, der schwach kurzsichtige Augen von derselben Distanz und nahehin derselben Höhe über dem Boden hat, wie ich selbst, ist die Abweichung etwas gröfser, da der Winkel zwischen den scheinbar verticalen Meridianen nur 2° 9′ beträgt. Bei Herrn Dr. Dastich ist die Augendistanz 62,8, die Höhe über dem Boden 1640, der entsprechende Winkel würde 2° 11′ sein; der Convergenzwinkel der verticalen Meridiane war bei ihm gröfser 2° 33′ bis 2° 40′.

Ich halte es für nicht unwahrscheinlich, dafs in diesem Verhältnifs er Grund für die schiefe Lage der scheinbar verticalen Meridiane liegen lag. Wir sahen oben, dafs das Augenmaafs im monocularen Gesichtsfelde einen sicheren Anhaltspunkt für ihre Feststellung giebt, weil Winkel, deren chenkel nicht übereinstimmende Richtung haben, nicht durch Deckung mit enselben Netzhautstellen verglichen werden können. Wenn wir nun beide ugen gebrauchen und sie auf weit entfernte Gegenstände richten, welche lein constante Resultate für die Vergleichung der Ausmessungen beider ehfelder geben, so haben wir oberhalb des Horizonts meist den Himmel, er bei Tage keine scharfgezeichneten Objecte darbietet, und unterhalb des orizonts den Fufsboden, der nicht nur bestimmte Merkpunkte in Menge rzubieten pflegt, sondern dessen Beachtung im indirecten Sehen wesentlich thwendig ist, wenn wir vorwärts gehen. Daraus kann sich dann bei normalhtigen Augen die Uebung bilden, die Bilder derjenigen Netzhautpunkte eich zu localisiren, auf welchen beim Gehen die gleichen Punkte des Bodens h abzubilden pflegen. Kurzsichtige Augen, die den Fufsboden nicht deutlich nen, werden diesem Einflusse entzogen sein und ihre Identitätsverhältnisse hr an nahen Gegenständen ausbilden müssen.

Zu erwähnen ist noch, dafs wenn bei aufrechter Haltung des Körpers l Kopfes ein Punkt der Fufsbodenlinie betrachtet wird, der auch in der dianebene des Kopfes liegt, zwar nicht die ganze Bodenebene Horopter 716
aber doch die gerade Horopterlinie ganz in die Bodenfläche fällt.

Es scheinen übrigens auch Augen vorzukommen, bei denen die scheinbar ticalen Meridiane nicht ganz gerade sind, sondern in der Gegend des ationspunktes eine schwache Knickung haben, so dafs ihre oberen Hälften en kleineren Winkel mit einander machen, als die unteren. Ein in schen Beobachtungen sehr geübter Studirender beschrieb mir die

Erscheinungen in seinen Augen so. Da scheint dann der Einflufs des Fufs-bodens nur für die unteren Theile der Sehfelder (obere Netzhauthälften) sich geltend gemacht zu haben, während für die anderen Theile nicht das Bedürfnifs gerade Linien als gerade zu sehen entscheidend war, sondern Beobachtungen an steiler stehenden Objectflächen ein selbständiges Identitäts-verhältnifs ausbildeten.

Die bisherigen Angaben bezogen sich auf den Horopter, als Ort von Punkten, welche einfach gesehen werden sollen. Wenn Linien einfach gesehen werden sollen, so ist nur nöthig, dafs die Linien beider Netzhäute, auf denen sie abgebildet sind, Decklinien seien, ohne dafs gerade Punkt für Punkt der Bilder correspondirt. Wenn ein zweites Bild einer Linie in Richtung der Linie selbst verschoben ist, kann es mit dem ersten doch noch in ganzer Länge sich decken. Dieser Fall wird namentlich an geraden Linien, die sich in sich selbst fortdauernd congruent verschieben können, vorkommen. Die Fläche, in welcher gerade Linien bestimmter Richtung liegen müssen, um in dieser Weise zwei correspondirende Bilder zu liefern, heifst ein Linien-horopter. Derselbe heifst Verticalhoropter für die Linien, die in den beiden Sehfeldern normal zu den Netzhauthorizonten erscheinen, Horizontal-horopter für die, welche den Netzhauthorizonten parallel erscheinen. Ein solcher Linienhoropter für Linien, deren Bilder in den Sehfeldern paralleler Richtung haben, ist im Allgemeinen ein Hyperboloid mit einer Mantelfläche, was in besonderen Fällen in einen Cylinder oder Kegel übergehen kann. Der Linienhoropter für solche Systeme gerader Linien, die sich in einem Punkt der Horoptercurve schneiden, ist ein Kegel zweiten Grades, welcher den ge-meinsamen Schnittpunkt mit den andern Punkten der Horoptercurve verbindet.

Überhaupt wird jede gerade Linie, welche durch zwei Punkte der Horoptercurve geht, einfach gesehen, und durch jeden binocular gesehenen Punkt des Raumes läfst sich mindestens eine einfach erscheinende gerade Linie legen. Diese letztere läfst sich folgendermaafsen finden. Von dem betreffenden Punkte werden die Visirlinien nach beiden Augen gezogen; die eine sei bezeichnet mit a, die andere mit b'. Im ersten Auge giebt es eine Visirlinie b, die mit b' correspondirt, und im zweiten Auge eine solche a', die mit a correspondirt. Man lege eine Ebene durch a und b, eine zweite durch a' und b'; die Linie, in der beide Ebenen sich schneiden, ist die gesuchte einfach gesehene Linie.

Ich lasse hier noch die Beschreibung der Constructionen folgen, mittels deren man in den beiden oben erwähnten einfacheren Fällen die Lage des Vertical- und Horizontalhoropters und damit auch die Lage der Horoptercurve finden kann, unter der Voraussetzung, dafs die Augen des Beobachters dem Bewegungsgesetze von Listing folgen und in der Primär-
717 stellung keine merkliche Abweichung der Netzhauthorizonte von der Visir-ebene haben.

A. Fixationspunkt in der Medianebene. Der Verticalhoropter ist ein Kegel, der Horizontalhoropter besteht aus zwei sich schneidenden

Ebenen, die Horoptercurve aus einer geraden Linie und einem ebenen Kegelschnitt.

In *Fig. 249* falle die Ebene der Zeichnung zusammen mit der Medianebene des Kopfes des stehenden Beobachters, und die Haltung des Kopfes sei so, dafs die Primärlage der Blicklinien horizontal und parallel Ao in die Ferne gerichtet sei. Der Punkt o sei der zwischen den Mittelpunkten der Visirlinie beider Augen mitten inne gelegene Punkt. Man errichte in o das Loth oa auf der Linie oA und mache es so lang, dafs sich in seinem tiefsten Punkte a die scheinbar verticalen Äquatorialaxen der Augen, wie sie in der Primärlage der Blicklinien gestellt sind, schneiden. Eine horizontal durch a gelegte Ebene, die durch DE geht, ist dann der Horopter für die Sehrichtung oA. Diese Ebene fällt, wie bemerkt, bei normalsichtigen Augen nahehin mit der Fufsbodenfläche zusammen.

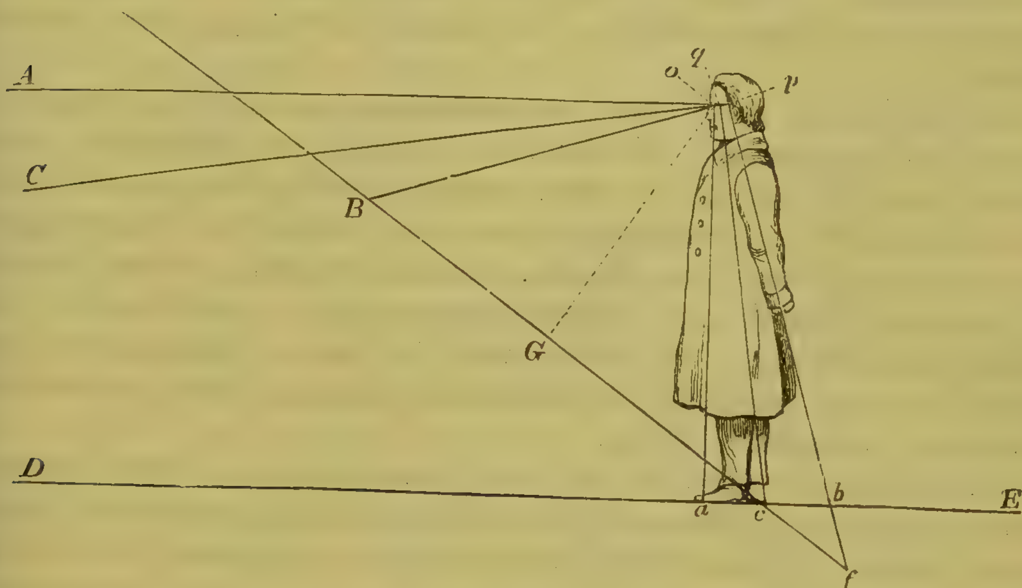


Fig. 249.

Nun werde B Fixationspunkt, welcher Punkt in der Ebene der Zeichung, das heifst in der Medianebene des Kopfes des Beobachters angenommen rd. Bo ist die Schnittlinie der Visirebene mit der Medianebene. In der sirebene denken wir uns den MÜLLER'schen Kreis construirt, der durch B d die Centra der Visirlinien beider Augen geht; sein medianer Durchsser sei Bp. Man errichte auf Bp das Loth pb, in welchem die Spitze s Verticalhoropterkegels liegt.

Um den Ort dieser Spitze zu finden, nehmen wir einen dritten Fixationsnkt zu Hilfe C, der so gewählt ist, dafs wenn wir unter o' das Centrum Visirlinien des einen oder andern Auges verstehen, welcher Punkt also vas vor oder hinter der Ebene der Zeichnung in einem in o errichteten rpendikel liegen müfste, dann die Linie Co' den Winkel $Ao'B$ halbirt.

Die Visirebene für den Fixationspunkt C ist dann die eine Ebene des rizontalhoropters für den Fixationspunkt B. Die zweite Ebene des Horizontal-

718 horopters ist die Medianebene. Construirt man in der Visirebene für *C* der MÜLLER'schen Kreis, das heifst einen Kreis, der durch den Fixationspunk und die beiden Centra der Visirlinien geht, und dessen Durchmesser *C* sein möge, so werden einfach gesehen 1. alle geraden Linien überhaupt welche in der Ebene *Coo'* liegen, 2. alle geraden Linien in der Medianebene welche durch den Punkt *q* gehen. Bei den letzteren aber freilich correspon dirt das Bild ihres entfernteren Endes im einen Auge mit dem Bilde de näheren Endes im andern.

Man errichte in *q* ein Loth auf *Cq*, welches die Linie *DE* in *c* schneidet dann ist *Bc* die gerade Horopterlinie und der Punkt *f*, in welchem sich *B* und *pb* schneiden, ist die Spitze des Verticalhoropterkegels, welcher übrigen durch den MÜLLER'schen Kreis vom Durchmesser *Bp* in der Visirebene de Beobachters geht, und dadurch gegeben ist.

Während also die eine Linie des Punkthoropters die Gerade *Bf* ist ist die zweite diejenige Ellipse, in welcher der Kegel die Ebene *Coo* schneidet.

Der Schnitt *Bp* des Kegels ist kreisförmig und steht rechtwinkelig au der Kante *pf* des Kegels; ein Schnitt, der auf der diametral gegenübe liegenden Kante *Bf* senkrecht steht und die Medianebene in *Go* schneide mag, mufs ebenfalls kreisförmig sein. Die durch die Mittelpunkte de Augen gelegten Schnitte des Kegels, welche zwischen *Bo* und *Go* hinein fallen, müssen Ellipsen mit längerer Queraxe sein. Die Schnitte, welch aufserhalb des Winkels *BoG* fallen, wie *Co*, müssen Ellipsen mit längere medianer Axe sein, beziehlich Parabeln oder Hyperbeln, wenn sie die Linie *B* erst jenseits *f* schneiden sollten.

B. Der Fixationspunkt in der Primärlage der Blickebene. De Verticalhoropter ist in diesem Falle ein Hyperboloid, welches die Visireben in einem Kreise (MÜLLER'schen Horopterkreise) schneidet, der durch de Fixationspunkt und die beiden Centra der Visirlinien geht. Der Horizontal horopter besteht aus zwei Ebenen, vo denen die eine die Visirebene, die ander normal dazu ist. Die Horoptercurve besteh aus dem MÜLLER'schen Kreise und eine geraden Linie.

Es seien in *Fig. 250* *a* und *b* di Centra der Visirlinien für beide Augen *c* der fixirte Punkt, so ist der durch *abc* gelegte Kreis der MÜLLER'sche Horopter kreis und ein Theil der Horoptercurve Es sei ferner *fg* die Medianlinie der Visir ebene, so schneidet die gerade Horopter linie den Kreis in *f*, also seitlich vom Fixationspunkte. Man ziehe den Durch messer *cd* und die Linie *fd*. In letzterer

Fig. 250.

errichte man eine Ebene normal zur Ebene des Kreises; diese ist die zweite Ebene des Horizontalhoropters. Alle geraden Linien, die in dieser Ebene liegen und durch den Punkt *d* gehen, werden einfach gesehen; andererseits auch alle geraden Linien, die in der Visirebene liegen.

Um die gerade Horopterlinie vollständig zu construiren, schneide man 719
auf *fd* die Länge $fh = fa$ ab, errichte in *h* ein Loth auf der Visirebene; dieses schneidet die Fufsbodenfläche, das heifst die unendliche Horopterebene für die Primärlagen der Blicklinien, in demselben Punkte wie die gerade Horopterlinie, und dadurch ist letztere zu finden.

Wenn die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane gleich Null ist, wird die gerade Horopterlinie senkrecht zur Ebene des Kreises.

Empirisch kann man die Richtung des Linienhoropters finden, wenn man einen glänzenden geraden Draht oder einen weifsen gespannten Faden vor dunklem Grunde so richtet, dafs man ihn durch zwei verschiedenfarbige Gläser einfach sieht, oder besser so, dafs man bei etwas vermehrter oder verminderter Convergenz der Augen ihn in parallelen Doppelbildern erblickt. Hält man zum Beispiel einen senkrechten Draht nahe vor die Augen in der Medianebene des Kopfes und fixirt seine Mitte bei horizontaler Blickrichtung, so wird man finden, dafs sein oberes Ende im rechten Auge etwas nach links, im linken nach rechts hinüber geneigt erscheint. Fixirt man einen Punkt, der nahe hinter der Mitte des Drahtes liegt, so erscheint dieser in nach oben divergirenden gekreuzten Doppelbildern; fixirt man einen etwas näheren Punkt, so erscheint der Draht in nach unten divergirenden ungekreuzten Doppelbildern. Um den Draht durch zwei farbige Gläser genau einfach, oder um ihn in genau parallelen Doppelbildern zu sehen, mufs man sein oberes Ende etwas vom Beobachter entfernen. Es wurde diese Erscheinung zuerst von Baum beobachtet und von Meissner, wie früher erwähnt ist, zur Untersuchung der Raddrehungen der Augen benutzt. Sowie nämlich durch Raddrehung der Winkel zwischen den scheinbar verticalen Trennungslinien verändert wird, mufs auch die Neigung des Drahtes gegen die Visirebene geändert werden, wenn er einfach erscheinen soll. Je entfernter der Fixationspunkt und je mehr die Blickebene gehoben ist, desto stärker mufs der Draht gegen diese Ebene geneigt werden. Bei gesenkter Blickrichtung und nahem Fixationspunkte dagegen kann er senkrecht gegen die Blickebene, oder sogar mit seinem oberen Ende dem Beobachter zugeneigt stehen.

Nachdem wir in solcher Weise bestimmt haben, welche Dimensionen in beiden Sehfeldern als gleich und ungleich erscheinen, haben wir noch die Genauigkeit dieser Vergleichung der Sehfelder zu untersuchen. Diese Genauigkeit ist, wie schon im vorigen Paragraphen erörtert wurde, sehr grofs, wenn es sich wie beim gewöhnlichen Gebrauche der Augen darum handelt, Verschiedenheiten der Tiefendimensionen der gesehenen Objecte zu erkennen. Die Vergleichung ist dagegen verhältnifsmäfsig ungenau und mancherlei Täuschungen unterworfen, wenn es sich darum handelt, Doppel-

bilder zu erkennen, oder die Lage der Bilder in den beiden Sehfeldern zu vergleichen. Obgleich das letztere der einfachere Vorgang zu sein scheinen könnte, während die Beurtheilung des stereoskopischen Reliefs mannigfache Erfahrungsmomente zu Hülfe nehmen mufs, so ist die letztere doch um so besser eingeübt, weil sie von der hervorragendsten praktischen Wichtigkeit ist, während die Wahrnehmung der Doppelbilder und ihrer Lage gegen einander nur die Erscheinung der Objecte, nicht diese selbst betrifft. Ebenso
720 vergleichen wir die wirklichen Dimensionen zweier verschieden entfernter Objecte viel sicherer, als die Gesichtswinkel, unter denen sie erscheinen, obgleich die letzteren unmittelbar gleichen oder ungleichen Netzhautstrecken entsprechen, während bei ersterer Vergleichung eine lange Einübung durch Erfahrung nothwendig ist, um den Einflufs der Entfernung auf die Gröfse der Netzhautbilder desselben Objects kennen zu lernen.

Was zunächst die Beurtheilung der Tiefendimensionen mittels des binocularen Sehens betrifft, so geschieht diese am genauesten bei denjenigen Objecten, welche im Horopter liegen und genau einfach gesehen werden, gewisse oben schon erwähnte Täuschungen ausgenommen, die von mangelhafter Schätzung der Convergenz der Gesichtslinien herrühren. Weniger genau ist dieselbe für Objectpunkte die sich zwar vom Horopter entfernen, aber noch nicht so weit, dafs die entstehenden Doppelbilder als solche wahrgenommen würden, am geringsten endlich bei Objecten, welche in deutlich getrennten Doppelbildern erscheinen, um so geringer, je weiter diese aus einander treten.

Ich habe schon früher[1] darauf aufmerksam gemacht, und dasselbe ist durch E. Hering[2] bestätigt worden, dafs die Doppelbilder keineswegs, wie es die ältere Annahme war, in der gleichen Entfernung wie das fixirte Object erscheinen und etwa auf eine imaginäre Horopterfläche, die durch den Fixationspunkt gehen sollte, projicirt würden. Sondern die Doppelbilder erscheinen nahehin in der richtigen Entfernung, wo sich das entsprechende Object befindet. Man kann sich davon durch einfache Versuche leicht überzeugen. Man fixire ganz fest und ohne die Augen zu verwenden einen Punkt der Wand in der Entfernung von einigen Fufs und halte dabei ein Blatt steifen Papiers so vor den unteren Theil des Gesichts, dafs sein oberer Rand einige Zoll vor den Augen und ungefähr in derselben Höhe liegt. Der Papierschirm verdeckt in dieser Stellung alle Gegenstände, die vor dem Beobachter unterhalb seiner Visirebene liegen. Nun lasse man von einem seitlich stehenden Gehilfen eine Stricknadel von unten her in einer beliebig von ihm gewählten Entfernung so in die Höhe schieben, dafs ihr oberes Ende dem Beobachter sichtbar, und zwar, wenn dieser gut und sicher fixirt, von Anfang an nur in Doppelbildern sichtbar wird. Sogleich wird der Beobachter eine Vorstellung von der Entfernung des Drahtes erhalten, auch wenn er nicht ein einziges Mal seinen Fixationspunkt verlassen und di

[1] v. Helmholtz, *Archiv für Ophthalmologie.* X. 1, S. 27.
[2] Hering, *Beiträge zur Physiologie,* Heft 5, S. 335.

Nadel einfach gesehen hat. Zur Probe versuche er nach dem verdeckten Theile derselben zu greifen, so dafs ihm seine Hand auch durchaus verdeckt bleibt. Er wird den Draht gleich beim ersten Versuche treffen, oder wenigstens ganz nahe daran vorbeifahren. Damit der Beobachter hierbei sein Urtheil aus der scheinbaren Dicke des Drahtes auf seine Entfernung bilde, was freilich kaum zu fürchten ist, lasse er den Gehilfen aus einem Vorrath verschieden dicker Nadeln eine beliebige wählen.

Auch bei den Versuchen mit beweglichen stereoskopischen Objecten, welche scheinbar ihre Entfernung vom Beobachter ändern, wie bei dem oben, S. 838 beschriebenen Instrument von Halske, kommen oft deutlich getrennte Doppelbilder zum Vorschein, namentlich bei schneller Bewegung, der die 721
Blicklinien nicht schnell genug folgen können, wodurch aber die Täuschung über die scheinbare Tiefenbewegung durchaus nicht gehindert wird.

Nur bei sehr weit getrennten Doppelbildern, wie sie namentlich von weit entfernten Objecten sich bilden, wenn ein naher Gegenstand fixirt wird, und an denen kaum noch die Zusammengehörigkeit beider Bilder erkannt wird, hört die binoculare Tiefenwahrnehmung auf und es kann dann wie beim monocularen Sehen die Winkelgröfse des entfernten Objects mit der Winkelgröfse des fixirten verglichen werden. Von dem fixirten Objecte kennt man aber die wahre lineare Gröfse, und diese wird dann unwillkürlich der Maafsstab auch für das Bild des entfernteren Objects. Wendet man sich also zum Beispiel gegen die Häuser jenseits der Strafse und fixirt den vorgehaltenen Finger, so werden die in weit getrennten Doppelbildern sichtbaren Häuser scheinbar gröfser, wenn man den Finger entfernt, kleiner, wenn man ihn nähert. Im ersten Falle nimmt die Winkelgröfse des Fingers ab; relativ zu ihm wird die Winkelgröfse der Häuser also gröfser, und wir brauchen den Finger als constanten Maafsstab, da dessen lineare Gröfse und Entfernung fortdauernd deutlich wahrgenommen wird, die der entfernten Häuser aber nicht.

Wie nun bei solchen weit von einander getrennten Doppelbildern die zunehmende Unsicherheit der binocularen Tiefenwahrnehmung leicht auffällt, so läfst sich andererseits auch für die ganz und beinahe einfach gesehenen Objecte nachweisen, dafs ihr Relief desto genauer erkannt wird, je weniger sie sich vom Horopter entfernen, — abgesehen immer von den oben erwähnten besonderen Täuschungen.

Um dies für die gerade Horopterlinie zu zeigen, nehme man eine dünne gerade Stricknadel und biege sie in der Mitte ganz wenig, so dafs ihre beiden Hälften einen Winkel von etwa 175° mit einander machen. Man halte sie dann vor sich, so dafs beide Schenkel dieses Winkels in der Medianebene des Kopfes liegen, wobei sie für ein Auge, was sich auf dem Nasenrücken des Beobachters befände, ganz gerade erscheinen würde, und auch für jedes der wirklichen Augen die schwache Biegung, in starker perspectivischer Verkürzung gesehen, ganz unmerklich wird. Doch erkennt man unter diesen Umständen, mit beiden Augen zugleich sehend, die Knickung der Nadel, vorausgesetzt dafs diese ungefähr die Richtung der geraden

Horopterlinie hat, und also bei Fixation eines entfernteren oder etwas näheren Punktes in merklich parallelen Doppelbildern erscheint. Man erkennt die Knickung der Nadel aber nicht, wenn man derselben eine andere Richtung in der Medianebene giebt, wobei sie einen erheblichen Winkel mit der geraden Horopterlinie macht.

Für den MÜLLER'schen Horopterkreis habe ich den Versuch in folgender Weise eingerichtet: Auf einen Tisch, nahe über dessen Rande sich meine Augen befanden, legte ich neben einander zwei Brettchen. In das eine wurden neben einander, etwa ein Centimeter von einander entfernt, zwei feine lange Stecknadeln festgesteckt, in das zweite Hölzchen eine Nadel derselben Art. Die Hölzchen wurden so neben einander gelegt, dafs die drei Nadeln sich etwa gleich weit vom Beobachter befanden, die beiden äufseren gleich weit
722 von der mittleren entfernt. Ein passender Schirm bewirkte, dafs ich nur die Köpfe und den oberen Theil der drei Nadeln sehen konnte, die etwa 50 Centimeter von meinen Augen entfernt waren. Ich untersuchte nun, wie weit ich die seitliche Nadel nach vorn oder hinten verschieben konnte, ehe ich merkte, dafs die drei Nadeln nicht mehr in einer Ebene, sondern in einem Bogen standen. Wenn die Verschiebung auch nur eine halbe Nadeldicke, also etwa ein Viertel Millimeter betrug, merkte ich es schon. Der Winkelunterschied in der Stellung der mittleren Nadel im Verhältnifs zu den beiden äufseren betrug hierbei nur 21 Secunden. Um aber eine so grofse Genauigkeit zu erreichen, mufste die Richtung der Nadelreihe der Richtung entsprechen, die der Horopterkreis an dem betreffenden Orte hatte. Wenn die Nadeln also gerade vor mir, die mittlere in der Medianebene meines Kopfes und die rechte und linke gleich weit von mir entfernt waren, so urtheilte ich mit grofser Genauigkeit, ob sie in einer Ebene standen. Befand sich aber die rechte Nadel etwas näher zu mir, die linke ferner, so war ich weit weniger sicher in der Entscheidung, ob sie in einer geraden Linie oder in einem Bogen standen. Befand sich die mittlere Nadel dagegen rechts seitwärts von der Mittelebene meines Kopfes, wo die Richtung des Horopterkreises sich nach rechts hin dem Beobachter nähert, so mufste auch die rechte Nadel mir etwas näher stehen, als die linke, wenn ich die gröfste Sicherheit in der Beurtheilung des Reliefs der Nadelreihen haben sollte. War die Reihe der Nadeln bei dieser Stellung senkrecht gegen die Blickrichtung, so war die Wahrnehmung, ob sie einen Bogen oder eine gerade Linie bildeten, merklich schwieriger. Am günstigsten war es also immer, wenn die Richtung der Nadelreihe der Richtung der Tangente des Horopterkreises entsprach.[1]

Es ist bei diesem Versuche zu bemerken, dafs man die Nadeln nicht zu weit auseinander rücken darf, weil sonst die erwähnte Täuschung eintritt, vermöge deren wir einen gegen uns concaven horizontalen Bogen für gerade zu halten geneigt sind. Bei den oben angegebenen Entfernungen der Nadeln

[1] Der Sinn dieses Versuchs ist von Herrn E. HERING in seiner Kritik gänzlich mifsverstanden worden.

ürde die Tiefe des Bogens, der als gerade Linie erscheint, für die meisten ugen weniger als 0,1 Millimeter betragen, also viel kleiner sein als die ahrnehmbaren Verrückungen.[1] Und auch bei solchen gröfseren Entfernungen er Nadeln, wo die Täuschung sichtbar werden sollte, wird man finden, dafs er Spielraum zwischen den Verschiebungen, welche einen anscheinend conaven und convexen Bogen vortäuschen, sehr viel kleiner ist, wenn die Reihe er Nadeln der Richtung des Horopterkreises sich anschliefst, als wenn sie it ihr einen Winkel bildet.

Wenn wir geradeaus nach einem Punkt des Horizonts blicken, ist der oropter eine unterhalb der Visirebene liegende horizontale Ebene, welche ei normalsichtigen Augen meist ganz oder nahehin mit der Fufsbodenfläche es stehenden Beobachters zusammenzufallen scheint. Wenn wir einen Punkt der Medianlinie der Fufsbodenebene fixiren, so ist zwar nicht die ganze bene Horopter, aber die gerade Horopterlinie liegt auch dann doch ganz 723
der Fufsbodenebene. An der Fufsbodenebene beobachte ich nun entrechende Erscheinungen, welche schliefsen lassen, dafs auch in diesem Falle e Beurtheilung des Reliefs der Fufsbodenebene besonders genau ist, weil e Horopterfläche ist. Um dies zu prüfen, betrachte man, auf ebenem Felde hend, zunächst das Relief der Bodenfläche in gewöhnlicher Weise. Man ht diese Fläche mit ihren kleinen Wölbungen und Senkungen deutlich rizontal bis in ziemlich grofse Entfernungen. Nun sehe man nach derselben äche entweder mit seitwärts geneigtem Kopfe unter dem Arme durch, er mit abwärts geneigtem Kopfe zwischen den Beinen, wobei man aber einen Stein oder Erdhügel steigt, so dafs die Höhe des Kopfes über der rizontalen Fläche nicht merklich geändert wird. Man wird nun die ferneren eile der Bodenfläche nicht mehr horizontal, sondern wie eine auf die mmelsfläche gemalte Wand sehen. Ich habe viele solche Beobachtungen der von Heidelberg nach Mannheim führenden Strafse angestellt. Vor lag hinter einer Reihe von Feldern der Neckar, der einen Einschnitt in ebene Terrain macht, jenseits wieder ebenes Land, welches sich etwa e Meile weit bis an den Ölberg bei Schriesheim ausdehnt. Bei aufrechter tung des Kopfes erkannte ich vollkommen gut die weitgedehnte Ebene seits des Flusses; bei schräger oder verkehrter Haltung schien das Terrain Flusse aus unmittelbar zu dem Ölberg in die Höhe zu steigen. Eine ke, die durch ein Stück Feld von einem dahinter liegenden Hause getrennt , was ebenfalls bei aufrechtem Kopfe deutlich zu sehen war, schien bei äger Haltung ganz nahe vor dem Hause zu liegen, und so weiter. Auch kleinen Unebenheiten der Strafse waren mir bei natürlicher Kopfhaltung plastischer.

Alle diese Erscheinungen treten ebenso ein, wenn man, statt den Kopf udrehen, das Bild umkehrt. Am vortheilhaftesten sind dazu rechtwinkelige

[1] Dafs ich in meiner früheren Arbeit angegeben habe: ein Bogen, dessen Krümmung etwa der des terkreises entspricht, erscheine gerade, beruhte auf Messungen bei zu kleinen Distanzen der n; der Bogen ist in der That beträchtlich flacher, als der des Horopterkreises.

Prismen zu verwenden mit horizontal liegender Hypotenusenfläche, durch welche man, wie oben Seite 634 erörtert ist, die vorliegenden Gegenstände verkehrt sieht. Ich klebte zwei solche Prismen in der Entfernung meiner beiden Augen von einander entfernt, auf ein ebenes Brettchen und beobachtete durch sie die Landschaft. Das stereoskopische Relief der Bodenfläche schwand hierbei ebenso, wie beim Sehen zwischen den Füfsen durch. Andererseits sieht man durch sie zuweilen das Relief niedrig liegender Wolken besser als mit blofsen Augen, weil die Wolken, durch die Prismen gesehen, in Richtung des Fufsbodens zu liegen kommen.

Wenn man endlich mit verkehrtem Kopfe zwischen den Beinen hindurch und gleichzeitig durch die umkehrenden Prismen die Landschaft betrachtet, so hat man wieder das deutliche Relief der Bodenfläche wie beim natürlichen Sehen. In diesem Falle ist das Spiegelbild der Bodenfläche wieder im Horopter der umgekehrten Augen. Dieser letzte Versuch zeigt, dafs nicht die ungewöhnliche Stellung des Kopfes an sich, noch die ungewohnte Richtung des Bildes an der mangelhaften Genauigkeit der Tiefenwahrnehmung Schuld sind, sondern die verkehrte Lage des Bildes gegen die Augen.

724 Hiermit stimmt es ferner überein, dafs Herr E. Hering,[1] dessen Augen eine sehr geringe Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane haben, erklärt, dafs er die ferneren Theile der Fufsbodenfläche mit zwei Augen nicht anders als bei monocularer Betrachtung sehe.

Wie wesentlich die richtige Wahrnehmung des Reliefs der Bodenfläche beim Gehen ist, ist ersichtlich. Meistens gehen wir vorwärts, ohne die Bodenfläche direct anzusehen, und bleiben doch genügend unterrichtet über die kleinen Unebenheiten ihrer Form. Wie sehr selbst eine ganz kleine scheinbare Verschiebung des Bildes der Bodenfläche stören kann, habe ich neuerdings noch vielfältig erfahren. Wegen eines geringen Grades von Kurzsichtigkeit trug ich bei einer Gebirgsreise eine Concavbrille (Nasenklemmer) mit ganz schwachen Gläsern (36 Zoll Brennweite), um die Fernsichten besser zu sehen. Die Gläser habe ich so abschleifen lassen, dafs ihre optischen Centra gleich weit von einander stehen, wie meine Augen, so dafs ferne Objecte, durch die Centra der Brille gesehen, keine sichtliche Tiefenverschiebung erleiden, wie dies geschieht, wenn die Centra der Gläser einander zu nahe stehen. Dennoch ist eine kleine Verschiebung der durch die unteren Theile der Gläser gesehenen Objecte da, weil die Axen der beiden Gläser durch die sie verbindende Feder nicht ganz genau parallel gehalten werden, und wenn ich genau auf den Fufsboden achte, so scheint dieser dicht vor meinen Füfsen eine kleine ansteigende Wölbung zu haben, die von einer falschen stereoskopischen Wirkung der Gläser herrührt. Obgleich dies so schwach ist, dafs es nur bei aufmerksamer Betrachtung bemerkt werden kann, macht mir dieser Umstand es unmöglich, die Brille zu gebrauchen, wenn ich schnell steile steinige Gebirgswege hinabgehen will, wo es nöthig ist, den Fufs ganz

---

[1] E. Hering, *Beiträge zur Physiologie.* Heft 5, S. 355. Dafs mir die Fufsbodenfläche nicht, wie er aus seiner Theorie schliefst, als eine verticale Ebene erscheint, brauche ich wohl kaum zu versichern.

icher zu setzen, und die Zeit fehlt, jeden Stein, auf den man treten will, inzeln zu betrachten und seine Entfernung zu schätzen. Trotzdem ich durch ie Brille die Steine etwas schärfer sehe, als mit blofsen Augen, gehe ich icherer ohne die Brille. Es war mir dies ein auffallender Beweis für die enauigkeit und Schnelligkeit, mit der die eingeübte Association zwischen innesempfindungen und Bewegungen eintritt.

Mit der Veränderung des Reliefs bei veränderter Kopfhaltung scheint ir auch die scheinbare Veränderung der Farben der Landschaft zusammenuhängen, die dabei eintritt. So lange wir ihre Tiefendimensionen deutlich ahrnehmen, sind die Veränderungen der Farben der Objecte durch die wischengelagerte Luft die natürlichen und gewohnten Attribute der Ferne, ie uns daher nicht als solche auffallen. Sobald wir aber die Wirkung des eliefs zerstören durch Umkehrung des Kopfes oder Umkehrung des Bildes nd die Landschaft als ebenes Bild sehen, so wird unsere Aufmerksamkeit uf die Farben hingelenkt. Auch bei monocularer Betrachtung der Landhaft ist noch ein geringer Unterschied da, wenn man erst aufrecht und ann unter dem Arme durchsieht, der mir davon herzurühren scheint, dafs er obere Theil der Netzhaut gegen das Grün des Bodens, der untere gegen as Blau des Himmels ermüdet ist, und deshalb die Farben etwas lebhafter erden, wenn sie auf neue Stellen der Netzhaut fallen. Aber dieses eigen- 725
ümliche Heraustreten der Lufttöne an den fernen Objecten finde ich nur ei binocularer Betrachtung recht deutlich. Auch hierfür ist es charakteristisch, afs für Herrn HERING seiner Versicherung nach monoculare und binoculare etrachtung keinen Unterschied macht.

Der Grund dieser besonderen Genauigkeit des Reliefs im Horopter ist, ie auch E. HERING annimmt, in dem psychophysischen Gesetze von FECHNER suchen. Für Gegenstände im Horopter sind die scheinbaren Entfernungen m Fixationspunkte gleich; die kleinsten Abweichungen von der Gleichheit eses Verhältnisses erkennen wir leicht und genau. Einer solchen entspricht ne Abweichung des betreffenden Objectpunkts vom Horopter. Wenn gegen die Form von Objecten beurtheilt werden soll, welche nicht im oropter liegen, so kommt es auf die Verhältnisse zwischen den Distanzen r Doppelbilder ihrer verschiedenen Punkte an und nicht mehr blofs auf Existenz eines Unterschiedes zwischen beiden Bildern. Correspondirende tzhautpunkte sind nach unserer Ansicht solche, deren gegenseitige Lage der Erfahrung am häufigsten verglichen worden ist, nach der anatomischen pothese solche, welche einen natürlichen Zusammenhang in ihrer Localiion haben. Durch beide Voraussetzungen erklärt es sich, dafs die Verichung correspondirender oder nahehin correspondirender Netzhautbilder sser und sicherer geschieht als die von disparaten.

Wir pflegen deshalb auch unwillkürlich Objecte, die wir genau und quem sehen wollen, möglichst in den Horopter zu bringen. Wenn man möglichst bequemer Haltung des Buches, in dem man liest, schwach ergirende Doppelbilder der verticalen Linien bildet, findet man sie einander

parallel, die verticale Horopterlinie fällt also in die Ebene des Papiers. Für solche Augen, die der Betrachtung ferner Objecte angepafst sind, stehen dann allerdings die horizontalen Linien des Papiers nicht im Horopter. Es mag das der Grund sein, warum in der Form der europäischen Buchstaben verticale Linien so auffallend bevorzugt sind gegen die horizontalen.

Die zweite Art der Vergleichung der beiderseitigen Sehfelder ist die, wobei wir die scheinbare Vertheilung der Objecte im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde beachten und die Doppelbilder wahrzunehmen suchen. Ich habe schon oben angeführt, dafs die Erkennung der Doppelbilder im Allgemeinen nur in der Mitte der Sehfelder gut geschieht und in deren peripherischen Theilen sehr grobe Ungenauigkeiten zeigt. Der wichtigste Umstand aber, welcher die Wahrnehmungen der verschiedenen Lage zweier Halbbilder eines und desselben Objects verhindert, ist die Vorstellung von der Einheit dieses ihres Objects. Wenn, wie wir wahrscheinlich zu machen gesucht haben, die Abmessungen der Sehfelder auf einer eingeübten Schätzung durch das Augenmaafs beruhen, so beruht auch die Wahrnehmung der Doppelbilder auf Augenmaafs und kann wie alle Schätzungen durch Augenmaafs aufserordentlich weit irre geführt werden durch allerlei psychische Einflüsse, namentlich durch solche, welche uns die, sei es wahre, sei es falsche Vorstellung aufdrängen, dafs die beiden Bilder einem und demselben Objecte angehören. Am schwersten bemerken wir daher die Verschiedenheit
726 der beiden Bilder wirklicher körperlicher Objecte, wenn dieselbe nicht sehr grofs und auffallend ist; daher denn auch die meisten Laien das Phänomen der Doppelbilder gar nicht kennen, obgleich sie solche fast fortdauernd in ihrem Gesichtsfelde gehabt haben müssen. Schwer trennen wir auch Doppelbilder von Linien gleicher Färbung und Helligkeit, wenn dieselben so gezogen sind, dafs ihre Deutung als Bilder einer und derselben objectiven Linie sehr nahe liegt. Am meisten erschwert aber wird die Wahrnehmung der Doppelbilder durch die Augenbewegungen. Bei der Betrachtung eines Objectes fixiren wir nach einander verschiedene Punkte seiner Oberfläche, sodafs die Netzhautgruben fortdauernd von correspondirenden Bildern getroffen werden. Diese Theile der Bilder werden zugleich am deutlichsten wahrgenommen und fesseln unsere Aufmerksamkeit am meisten. So wie unsere Aufmerksamkeit sich einem seitlich gelegenen Punkte des Objects zuzuwenden beginnt, welcher vielleicht in Doppelbildern erscheint, so gleiten unsere Augen fast unwillkürlich zu seiner Fixation über, was wir nur durch besonders dahin gerichtete Aufmerksamkeit und Willensanstrengung hindern können.

Will man also Doppelbilder möglichst gut erkennen, so mufs man erstens Augenbewegungen vermeiden und einen bestimmten, wohl bezeichneten Fixationspunkt festhalten. Zweitens ist es vortheilhaft, den zu unterscheidenden Bildern verschiedene Farbe oder Helligkeit zu geben, was ihre Deutung als Bilder desselben Objects erschwert oder unmöglich macht. Drittens kann man oft allerlei andere Ungleichheiten der Bilder durch theilweise Verdeckung, durch Hinzufügung ungleicher Merkzeichen hervorbringen, um die

ıfmerksamkeit des Beobachters auf ihre Verschiedenheit hinzulenken, und ıdurch die Unterscheidung der Doppelbilder zu einer ziemlich grofsen einheit treiben.

Methoden, mittels deren man den genannten Schwierigkeiten aus dem ege gehen und möglichst genaue Vergleichungen der scheinbar gleichen messungen in beiden Sehfeldern erhalten kann, sind oben bei der Aufbe, die Lage der correspondirenden Punkte und Linien zu suchen, schrieben worden. Aber auch wenn man die besten Methoden anwendet, die Vergleichung correspondirender Raumgröfsen der beiden Gesichtsfelder rklich unvollkommener, als die entsprechender Raumgröfsen in demselben lde.

Um bestimmte Zahlen hierfür zu gewinnen, sind die oben beschriebenen rsuche von Volkmann sehr geeignet. Bei denen, welche nach dem Schema r *Fig. 245* angestellt und auf Seite 853 beschrieben sind, verglich er die ticalen Abstände zwischen je zwei Paaren von Horizontallinien, von denen eine Paar im rechten Sehfelde rechts von der Mittellinie, das andere linken Sehfelde links von der Mittellinie lag. Im gemeinschaftlichen sichtsfelde schienen beide Paare in der Mittellinie zusammenzustofsen. s eine Paar der Linien hatte einen festen Abstand von 5,5 Millimeter einander. Im Mittel von je 30 Beobachtungen solcher Art, wobei lkmann den Abstand des zweiten beweglichen Paars dem des andern ich zu machen versuchte, gewann er zwar sehr gut stimmende Mittelthe, die nur um 0,01 und 0,03 Millimeter von dem richtigen Werthe vichen. Sieht man aber die einzelnen Beobachtungen an, so findet man, s er in der ersten Reihe (bewegliche Horizontale rechts) einmal den stand 6,0, und dann wieder 5,0 mit 5,5 für identisch hielt, und in der 727
iten Reihe kommt wieder 5,0 und 5,85 unter den Einzelbeobachtungen. In anderen Reihen, wo die Linien vertical gezogen waren, kommt 5 und 4,75 vor als gleich mit 5,2, und dann wieder 5,55 und 4,85 als ch mit 5,2.

Es würde nun allerdings ganz unmöglich sein, wenn man die beiden enpaare in demselben Sehfelde neben einander liegend und an einander ofsend erblickte, so grofse Fehler zu machen. Die Schwierigkeit bei binocularen Vergleichung scheint mir hauptsächlich ihren Grund darin finden, dafs die Fixation schwer ganz fest gehalten wird, und die beiden felder deshalb fortdauernde kleine Schwankungen in Bezug auf die Art, sie sich decken, zu machen pflegen. Um dies zu prüfen, habe ich auf Papierblatt zwei parallele Linien in 5,5 Millimeter Abstand gezeichnet, bis zum Rande reichen, auf einem zweiten zwei schwach convergirende, am einen Ende 4,5, am andern 6,5 Millimeter von einander entfernt, und nun das erste Blatt auf das zweite gelegt, so dafs das convernde Linienpaar zum Theil sichtbar bleibt und als Fortsetzung des parallelen rs erscheint. Während ich nun das obere Blatt fortdauernd ein wenig und herbewegte und dadurch die Schwankungen der Sehfelder nach-

machte, suchte ich mit einem Auge zu ermitteln, ob die convergirender Linien, wo sie am Rande des Papierblatts hervorkommen, gleich weit vor einander abstanden, wie die parallelen. Hierbei wurden also beide Linienpaare in demselben Gesichtsfelde gesehen und durch die Bewegungen de einen Paars das Schwanken der Augenaxen bei der binocularen Betrachtun nachgemacht. Andererseits konnte ich das convergente Linienpaar mit einen weifsen Papierblatt theilweise verdecken und es dann, soweit es sichtba war, wie bei den Versuchen von VOLKMANN binocular zur Berührung mi dem Paar paralleler Linien bringen, so dafs im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde beide Paare an einander stiefsen und das eine als Fortsetzung de andern erschien. Diese Methode ist noch etwas vortheilhafter, als VOLKMANN's bei dem je eine Linie jedes Paars ganz ausgezogen war und sich mit de correspondirenden deckte, während bei meinen Versuchen, wie bei dem au Seite 859 beschriebenen und nach dem Schema der *Fig. 247* angestellte Versuche, gar keine Deckung, sondern nur scheinbare Fortsetzung je zwei Linien vorkam. Abweichungen in den Abständen beider Linienpaare vo $^1/_2$ Millimeter wurden immer gleich erkannt, solche von $^1/_4$ Millimeter kau übersehen. Dabei stellte sich heraus, dafs ich die binoculare Vergleichun der correspondirenden Abstände ziemlich eben so gut vollzog, als die mon culare derselben Abstände in dem gleichen Sehfelde, wenn ich im letztere Falle durch fortdauerndes Hin- und Herbewegen der einen Zeichnung da Schwanken der beiden Sehfelder gegen einander nachahmte.

Auffallend grofs sind auch die einzelnen Fehler in den Versuchen, w VOLKMANN die Richtung einer Linie in einem Sehfelde mit der einer ander im anderen Sehfelde verglich. Es kommen hierbei Abweichungen vom Mitt im Betrage eines halben Grades sehr häufig, solche bis zu einem Gra zuweilen vor. Zwei Linien aber, die im monocularen Sehfelde unter eine Winkel von 179 Grad zusammenstofsen, für eine gerade Linie zu halte
728 ist ganz unmöglich, und kaum wird man bei solchen, die unter $179^1/_2$ Gr zusammenstofsen, die Abweichung übersehen. Noch weniger wäre es möglic im monocularen Felde zwei nahe neben einander hinlaufende gerade Linie die eine Neigung von einem ganzen oder halben Grade gegen einand haben, für parallel zu halten. Dafs nun solche Abweichnngen bei Ve gleichung beider Sehfelder übersehen werden, scheint mir nur erklärlich sein aus den Schwankungen in der Gröfse der Raddrehungen beider Auge die man, wie ich oben bemerkt habe, auch mittels der Nachbilder wah nehmen kann. Dafs trotz dieser Schwankungen in den einzelnen Versuch doch die Mittelzahlen vieler Versuche ein recht genaues Resultat geb können, braucht nicht aufzufallen.

Die sehr viel gröfsere Genauigkeit, welche bei der Beurtheilung d Tiefendimensionen wirklicher Objecte erreicht wird, möchte ich demna wohl gröfstentheils aus dem Umstande erklären, dafs wir aufserordentli viel besser eingeübt sind, an den Contouren eines binocular gesehenen Gege standes von bekannter Körperform mit den Blicklinien entlang zu lauf

ıls eine unveränderliche Fixation bei ungleichen Bildern beider Netzhäute festzuhalten.

Ich mufs in dieser Beziehung auf eine Thatsache aufmerksam machen, lie ich oft beobachtet habe. Wenn ich eine schwer zu combinirende stereokopische Zeichnung vor Augen habe, so gelingt es nur mühsam zu einander gehörige Linien und Punkte zur Deckung zu bringen, und bei jeder Augenbewegung gleiten sie wieder aus einander. So wie ich aber ein lebhaftes Anschauungsbild von der dargestellten körperlichen Form gewonnen habe, vas oft wie durch einen glücklichen Einfall plötzlich auftritt, so gleite ich nit vollster Sicherheit mit beiden Augen über die Figur hin, ohne dafs ihre Bilder sich wieder trennen. Mit dem Anschauungsbilde der Körperform ist uch die Regel für die Art der Bewegung der Blicklinien bei der Betrachung des Körpers gegeben, ja es kann, wie ich glaube, mit Recht die Frage ufgeworfen werden, ob denn das Gesichtsanschauungsbild einer Körperform berhaupt einen anderen reellen Inhalt hat, als den, diese Regel für die Bewegungen der Augen zu sein. Wenigstens müssen wir diese Frage vereinen, wenn wir die Ausmessung der Sehfelder aus den bei den Augenbewegungen gemachten Erfahrungen herleiten.

Wir wollen uns jetzt zur Untersuchung derjenigen Umstände wenden, urch welche die Genauigkeit in der Vergleichung beider Sehfelder beschränkt vird, wo also theils Bilder, die auf nicht correspondirenden Punkten beider Netzhäute abgebildet sind, zusammenfallen, theils solche, die auf correspondirenden abgebildet sind, verschiedene Stellung im Gesichtsfelde einzunehmen cheinen.

Der Hauptgrund für die Verschmelzung der Bilder disparater Netzhautunkte ist die Ähnlichkeit, welche sie mit den beiden perspectivischen ildern eines und desselben Objects haben. Je vollkommener eine solche hnlichkeit ist, desto schwerer wird es uns, uns loszumachen von der Vorellung des einen räumlichen Objects und die Anordnung und gegenseitige ntfernung der einzelnen gesehenen Linien und Punkte im Sehfelde unabängig von jener Anschauung zu vergleichen.

Betrachten wir zum Beispiel die beiden senkrechten Linienpaare der *ig. E, Taf. IV,* so dafs wir die rechte Linie des rechten Paares mit dem 729
chten, die rechte Linie des linken Paares mit dem linken Auge fixiren, erscheinen uns in dem Gesammtbilde zwei Linien, von denen die rechte was tiefer zurückliegt, als die linke. Die beiden Bilder der linken Linie önnen dabei nicht auf correspondirende Netzhautstellen fallen, weil die iden Linien des rechten Paares 3,5 Millimeter von einander entfernt sind, e des linken nur 2,7, also 0,8 Millimeter weniger. Dessen ungeachtet ıde ich es fast unmöglich, zu erkennen, dafs die eine oder andere der iden scheinbar schräg hinter einander stehenden Linien in einem Doppellde erscheint. Nur bei sehr anhaltend strenger Fixation der einen Linie he ich Andeutungen davon auftauchen. Es wird vielleicht einzelne Beobhter geben, welche auch in diesem Falle die Doppelbilder leicht sehen,

andere, denen es gar nicht gelingt; denn es zeigen sich in dieser Beziehung sehr grofse individuelle Unterschiede.

Bei den beiden Linienpaaren *H Taf. IV* ist der Unterschied der Entfernungen gröfser (3,7 und 7 Millimeter, Unterschied 3,3 Millimeter). Bringe ich sie zur Deckung, so gelingt es mir, auch diese als ein weit hinter einander liegendes Linienpaar zu sehen, aber die Doppelbilder der einer oder auch wohl beider Linien verschwinden mir dabei niemals ganz, weil ihr Abstand jetzt verhältnifsmäfsig zu grofs ist.

In der *Fig. J* haben die beiden senkrechten Linienpaare ebenfalls ziemlich verschiedene Abstände (6,7 und 9,2 Millimeter, Unterschied 2,5 Millimeter), doch ist der Unterschied ihrer Abstände geringer, als in den Linienpaaren *H*, und durch die oberen und unteren Begrenzungslinien, welche das perspectivische Bild einer rechteckigen Tafel herstellen, ist die Verschmelzung erleichtert. Bei dieser Figur ist für mich der Unterschied gerade hinreichend, dafs ich leicht und vollständig die stereoskpopische Vereinigung vollziehe, und andererseits doch auch mit geringer Anstrengung der Aufmerksamkeit die vorhandenen Doppelbilder erkennen kann. Fixire ich im letzteren Falle eine der senkrechten Linien, so erscheint mir die andere in Doppelbilde, und zwar sehe ich die kürzere rechte Linie des Gesammtbildes leichter doppelt als die längere linke. Fixire ich die rechte Linie des Gesammtbildes und vermehre ganz langsam die Convergenz der Augen, indem ich sehr vorsichtig und leise die betreffende Muskelanstrengung die ich aus langer Übung kenne, eintreten lasse, so kann ich die rechte Linie des Gesammtbildes in Doppelbilder von sehr geringem Abstand (etwa 1 bis 1½ Millimeter) aus einander treiben, wobei auch die linke Verticale in Doppelbilder erscheinen mufs, was mir auch für Augenblicke zu erkennen gelingt. Doch ist es sehr schwer, eine solche Augenstellung ohne bestimmtes Fixationsobject für einige Zeit festzuhalten, und das fortdauernde Schwanken der Blicklinien verräth sich durch das entsprechende Schwanken des Abstandes der beiden Doppelbilder der rechten Linie. Leichter gelingt es mir, an der *Fig. H* den Blick so festzuhalten, dafs das linke Linienpaar ganz innerhalb des rechten erscheint und alle vier Linien einzeln gesehen werden.

Hat der Beobachter also seine Augenbewegungen hinreichend in seiner Gewalt, so kann er die beiden Bilder willkürlich in jeder beliebigen Lage zum Decken bringen und auch im Allgemeinen in jeder Lage die Doppel-
730 bilder erkennen, vorausgesetzt, dafs diese nicht allzu nahe neben einander liegen.

Ich bin mir auch wohl bewufst, welche Art von Willensintention ich anwenden mufs, um die Doppelbilder entweder zu sehen, oder nicht zu sehen. Will ich sie nicht sehen, so suche ich durch den Blick abzumessen, wie viel die rechte Linie der *Fig. E*, *H* oder *J* mehr von mir entfernt ist, als die linke, ich wende also meine Aufmerksamkeit den Tiefendimensionen zu. Will ich die Doppelbilder sehen, so suche ich zu beurtheilen, welche Form das Gesammtbild als gezeichnete Figur in der Ebene des Papiers hat, wi

rofs etwa der horizontale Abstand der verticalen Linien nach der Ebene es Papiers gemessen sei, und ähnliches. Es erscheint mir dies durchaus ls ein ähnlicher Unterschied, wie er bei der Beurtheilung der Form der lächen eines Cubus zum Beispiel vorkommt, den ich in irgend einer schrägen tellung vor mir habe. Ich kann mir den Cubus einmal darauf ansehen, ob ine Flächen wirklich rechtwinkelig seien, und seine Kanten gleich lang, as sich bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit ja auch bei einer hiefen Ansicht desselben erkennen läfst. Oder ich kann den Cubus ichnen wollen und mir seine Flächen darauf ansehen, wie sie als Parallelo-amme im Sehfelde erscheinen. Dann werde ich darauf achten, um wie el gröfser die stumpf erscheinenden Winkel aussehen, als die spitz scheinenden, wie viel gröfser die eine Diagonale seiner Flächen erscheint s die andere, und so fort. Mit beiden Anschauungsweisen kann ich nach illkür wechseln. Sind die Flächen perspectivisch sehr verzogen, so rde ich, während ich deutlich wahrnehme, dafs die Winkel der Begrenzungs-chen alle gleich und alle Rechte sind, doch nicht ganz übersehen können, ſs die drei um eine Ecke herum gelagerten Rechten im Bilde gleich vier chten erscheinen, und überhaupt, dafs die verschiedenen rechten Winkel rschieden grofs erscheinen. Wenn aber die Ansicht nur wenig schief ist, rde ich vielleicht auch bei der gröfsten Aufmerksamkeit und Übung nicht kennen können, dafs die Winkel im Sehfelde verschieden grofs erscheinen; zum Beispiel, wenn mein Auge sich in der Verlängerung einer der Kanten findet, und ich also überhaupt nur eine Fläche des Cubus und diese mit ringer Neigung gegen die Blicklinie vor mir habe. Überhaupt sind wir l mehr geübt, die wahre körperliche Form, als die Erscheinung im Gesichts-de richtig abzuschätzen, worin eine Hauptschwierigkeit des Zeichnens ch Körpern besteht.

Genau so verhält es sich mit den Tiefenanschauungen im Gesichtsfelde l mit den Doppelbildern. Ich wende meine Aufmerksamkeit den Tiefen-nensionen zu; dann sind die verschiedenen Entfernungen entsprechender dpunkte in den beiden Netzhautbildern das erfahrungsmäfsige sinnliche chen für ein und dieselbe räumliche Dimension des äufsern Objects, und e Verschiedenheit drängt sich der Aufmerksamkeit des Beobachters nur n auf, wenn sie sehr grofs ist; wie die scheinbar rhomboidische Gestalt Flächen des Würfels nicht ganz vergessen werden kann, trotz der rich-en gleichzeitigen Wahrnehmung ihrer wirklichen quadratischen Gestalt, n die perspectivischen Verziehungen sehr grofs sind.

Dann aber wieder kann ich meine Aufmerksamkeit der Erscheinung im 731
sichtsfelde zuwenden, und werde nun Verschiedenheiten der beiden Bilder nerken können, die ich vorher übersah; dabei wird sich aber die Wahr-mung der Tiefendimension ebenso aufdrängen können und mich verleiten, r kleine Verschiedenheiten der beiden Ansichten des Körpers zu über-en, wie die Wahrnehmung der wirklichen Gestalt des Würfels mich voll-ndig hindern kann, sehr kleine perspectivische Verziehungen seiner Flächen

zu erkennen. Im einen, wie im andern Falle handelt es sich darum, di Verschiedenheit gewisser Raumgröfsen im Gesichtsfelde zu erkennen, welch wir erfahrungsmäfsig als den sinnlichen Ausdruck gleicher Gröfsen in objectiven Raume kennen, nur dafs einmal die beiden zu vergleichende Gröfsen in den beiden verschiedenen Sehfeldern liegen, im anderen Fall beide in demselben Gesichtsfelde.

Wenn ich übrigens in den *Fig. H* und *J* die Tiefendimensionen zu Anschauung zu bringen suche, so gelingt dies am besten, wenn ich de Blick vom einen zum anderen Ende der Tiefendistanz wandern lasse. Abe es gelingt auch, wenn gleich weniger lebhaft bei festgehaltenem Blicke, un zwar finde ich an den von Zeit zu Zeit auftauchenden Doppelbildern, daf ich dann so fixire, dafs die Mitte der linken Figur auf die Mitte der rechte fällt und beide Verticallinien des Gesammtbildes in Doppelbildern erscheinen Es ist dies die Stellung, welche die geringsten Distanzen sämmtlicher Doppel bilder giebt.

Übrigens wird das Sehen der Doppelbilder erleichtert, wenn man irgen welche, oft selbst sehr unbedeutende Incongruenzen in den beiden zu ver einigenden Bildern anbringt, welche der Deutung, als gehörten sie beide ei und demselben räumlichen Objecte an, widersprechen. So braucht man, wi Volkmann gezeigt hat, in der *Fig. E* nur eine Hälfte einer der Linien m einem weifsen Blatte zu verdecken, oder zwei Horizontallinien in verschiedene Höhe in den Zwischenräumen der beiden Paare von Verticallinien zu ziehe so dafs sich *H* ähnliche Figuren bilden, deren Querstriche aber verschiede hoch liegen. Oder man mache, wie in *Fig. P*, *Taf. VI* das eine Linienpaa schwarz auf weifsem Grunde, das andere weifs auf schwarzem Grund wodurch die stereoskopische Vereinigung erschwert, wenn auch nicl unmöglich gemacht wird. In *Fig. G*, *Taf. IV* sind die Linienpaare der *Fig.* copirt und nur zwei Punkte hinzugefügt, welche gleiche Entfernung von d links liegenden Linie jedes Paares haben, wobei aber der eine innerhalb, d andere aufserhalb der rechten Linie fällt. Vereinigt man die beiden Punkt indem man sie fixirt, so erscheinen die daneben liegenden beiden Linie sogleich getrennt, denn da die eine rechts, die andere links von dem fixirte Punkte sich befindet, so ist dies ein viel auffallenderer Unterschied, a wenn sie beide an derselben Seite des Fixationspunktes, und nur verschiede weit entfernt lägen. Aber auch, wenn man nicht den Punkt, sondern d linke Linie des Gesammtbildes fixirt, erscheint der Punkt einfach, währen die scheinbar hinter ihm durchgehende rechte Linie jetzt ziemlich leicht a doppelt erkannt wird. Es drängt sich hier die Wahrnehmung auf, dafs d rechte Linie der linken ein Mal näher als der Punkt erscheint, und ein M ferner, und wir erkennen nun, dafs der Punkt beide Male gleich weit v
732 der linken Linie entfernt ist, die rechte Linie aber ungleich weit. Dab tritt durch eine Art Contrastwirkung der Punkt, der in der Ebene d Papiers erscheinen sollte, vor dieselbe hinaus, als wäre er im rechten Bil der linken Linie etwas näher, im linken ferner.

Die Verschmelzung kann auch erfolgen zwischen Punkten, die etwas erschiedene Höhe über oder unter dem Netzhauthorizonte haben, z. B. wenn an die beiden Linienpaare der *Fig. F, Taf. IV* zum Decken bringt, von enen das linke 3, das rechte 3,7 Millimeter Abstand hat. Bei der Be- rachtung reeller Objecte findet dieser Fall seine Analogie, wenn man zwei orizontallinien, die seitlich von der Medianebene gelegen sind, vor Augen at. Diese sind dann dem einen Auge näher als dem anderen, und ihr bstand erscheint ersterem gröfser als letzterem. Aber die Unterschiede in en verticalen Abständen, welche bei der Betrachtung reeller Objecte vor- ommen, pflegen verhältnifsmäfsig klein zu sein gegen diejenigen, welche vischen den horizontalen Abständen vorkommen. Damit scheint es zusammen- ihängen, dafs nur solche Bilder verschmelzen, deren verticale Dimensionen hr geringe Verschiedenheit haben. Auch löst sich die Verschmelzung eser Linienpaare *F* sowohl, als auch selbst solcher, deren Abstände och viel weniger verschieden sind, ziemlich bald bei anhaltender fester xirung.

Es ist ferner hervorzuheben, dafs nicht blofs auf den seitlich von der etzhautgrube gelegenen Theilen der Netzhäute disparate Bilder verschmelzen innen, sondern selbst solche, die dicht bei und auf dem Centrum der etzhautgrube liegen. Wenn ich die beiden Kreuze der *Fig. L, Taf. V* im Decken bringe und den Mittelpunkt des Gesammtbildes fixire, müssen e beiden nach rechts von den Kreuzen gelegenen Verticallinien in eine heinbar continuirlich fortlaufende Linie verschmelzen. Das ist auch der ill, wenn ich sehr sorgfältig und genau die Mitte des Kreuzes fixire, aber ırchaus nicht immer, wenn ich auf das Fixiren nicht besonders achte; ndern bald scheint die obere, bald die untere Verticallinie weiter vom reuze entfernt zu sein, so dafs der gegenseitige Abstand der beiden halben erticallinien wohl bis zu einem Millimeter oder selbst mehr beträgt, ohne fs dabei erkennbare Doppelbilder der Verticalen des Kreuzes auftreten. trachte ich zuerst das Blatt selbst, also in Convergenzstellung, und treibe n die Augen aus einander, bis die Kreuze auf einander fallen, so bleibt r obere Theil der seitlichen Verticalen, der dem rechten Bilde angehört, wöhnlich der entferntere. Es bleibt also etwas zu viel Convergenz der igenstellung bestehen. Aber ich kann absichtlich auch die Augen noch was weiter aus einander treiben (was für mich immer noch Convergenz- llung ist, da der Abstand meiner Augen 66 Millimeter und der der Zeich- ngen nur 63,5 beträgt); dann tritt die obere Hälfte der Verticallinie dem euze näher als die untere. In diesem Falle verrathen die Schwankungen leicht vergleichbaren seitlichen Verticallinien, dafs Schwankungen der genstellung da sind, die sich nicht durch Doppelbilder der scheinbar rten Verticallinie des Kreuzes verrathen. Es ist dies ein Umstand, der Versuchen über Doppelbilder wohl zu beachten ist. Man darf nicht uben, dafs bei gewöhnlicher, nicht sehr genauer Fixation eines Punktes sser immer auf genau correspondirenden Punkten der Netzhautcentren 733

abgebildet ist. So finde ich auch, dafs ich die Figuren *E* und *F* immer s
fixire, dafs das engere Linienpaar ganz innerhalb des weiteren fällt. Un
dies zu sehen, brauche ich nur von einem Ende her die Hälfte des eine
Linienpaars mit einem weifsen Blatte zu verdecken,

Ich hatte eine ähnliche Figur wie *L* erst gebrauchen wollen, um di
Gröfse der correspondirenden Strecken auf der Horizontallinie zu bestimme
fand sie aber für mich dazu ganz unbrauchbar, weil die Verticale des Kreuze
mir auch bei ziemlich grofsen Verschiebungen der seitlichen Verticalen imme
noch einfach erschien. Dagegen gelang der Versuch viel besser, wenn ic
auch von der Verticale des Kreuzes in der einen Figur die obere, in de
andern die untere Hälfte wegliefs.

Es kann auch eine Verticale des einen Bildes mit zwei ihr nahehi
correspondirenden des andern verschmelzen. In *Fig. T, Taf. VII* sind link
zwei, rechts drei Linien. Bringt man die rechts liegende Linie beide
Gruppen zum genauen Decken, so fällt das Bild der einen linken Linie de
linken Gruppe mitten zwischen die beiden linken Linien der rechten Grupp
hinein und verschmilzt mit diesen. Es entsteht dabei der Eindruck eine
Gesammtbildes von drei Linien, deren äufserste linke dem Beobachter nähe
die dicht daneben liegende zweite dem Beobachter ferner ist, als die recht
Linie. Die drei Linien scheinen ein rechtwinkeliges Prisma zu begrenze
sie sind auch der richtige optische Ausdruck eines solchen, dessen ein
Fläche verlängert durch das linke Auge des Beobachters geht. Um z
erkennen, wo das Bild der einfachen linken Linie liegt, ist deren Mitte m
einem stärkeren Punkte bezeichnet. Fixire ich die rechte Linie des Gesamm
bildes, so fällt dieser Punkt bald auf die eine, bald auf die andere Lin
des entsprechenden Linienpaares, bald mitten hinein. Das verräth Schwa
kungen der Convergenz.

So kann auch ein Kreis mit einem anderen verschmelzen, der etw
gröfser oder etwas kleiner ist, wie die Kreise der *Fig. R, Taf. VII.* Es en
spricht das dem reellen Falle, wo der Beobachter einen seitlich von sein
Medianebene gelegenen Kreis (oder Kugel) betrachtet, der dem einen Au
näher ist, als dem anderen. Dabei sind die vertical verlaufenden Thei
beider Kreise leicht und ziemlich dauernd zu verschmelzen, die horizont
verlaufenden Bogenstücke trennen sich dagegen leicht, wenn der Unterschi
der Radien beider Kreise nicht relativ sehr klein ist. Der Fixationspun
ist dabei im Centrum des Gesammtbildes angenommen. Zu beachten ist b
diesem Versuche, dafs ich mich dabei ertappte, wie ich, ohne es zu wisse
den Kopf nach der Seite des gröfseren Kreises hingewendet hatte, wodur
die scheinbare Gröfse beider Kreise nahehin gleich wurde. Da gela
natürlich die Verschmelzung sehr viel vollständiger. Wenn man dageg
einen Kreis mit zwei anderen zu verschmelzen sucht, von denen der ei
etwas kleiner, der andere etwas gröfser ist, als jener, wie in *Fig. S, Taf. VI*
so findet die Verschmelzung an den nahe senkrecht verlaufenden Theil
der Kreise allerdings statt, und zwar meist so, dafs der einfache Kreis

ner Seite mit dem gröfseren, an der anderen Seite mit dem kleineren sammenfällt. Oben und unten dagegen trennen sich die Kreise und man 734 eht Bogen des einfachen Kreises vom grofsen zum kleinen hinüberlaufen. an sieht also im Gesammtbilde zwei Kreise, zwischen denen oben und ten allerdings in einer gewissen verwirrten und nicht recht deutlichen eise noch je ein verbindender Bogen herüberläuft. Der innere Kreis scheint rechts hinter, links vor dem äufseren zu liegen, vermöge einer nlichen stereoskopischen Wirkung wie bei den Verticalen der *Fig. T, Taf. VII.* ich hier tritt die Verschmelzung ein, soweit in den combinirten Zeichngen eine Ähnlichkeit mit reellen Objecten gefunden werden kann; wo se fehlt, trennen sie sich.

Volkmann[1] hat eine Reihe von Messungen angestellt über die Grenzrthe der Differenzen, die beim stereoskopischen Sehen noch verschwinden nnen. Er blickte mittels eines Stereoskops nach zwei Paaren von je zwei warzen Linien auf weifsem Grunde, die wir *ab* und *cd* nennen wollen. ne dieser Linien *d* war ein Menschenhaar, in einem Schieber ausgespannt d mit diesem verschiebbar. Der Schieber wurde anfänglich so gestellt, s die Linie *a* mit *c* und *b* mit *d* sich stereoskopisch vereinigte, dann wurde bewegliche Linie *d* ihrer Nachbarin *c* so lange entweder genähert oder ihr entfernt, bis sie sich von der mit ihr stereoskopisch vereinigten ie *b* des andern Paares trennte. Der durch die Linsen des Stereoskops änderte Gesichtswinkel war so grofs, als würden die Linien aus 150 Milliter Distanz betrachtet.

Wenn auch der Beobachter bei diesen Versuchen die Aufgabe hatte, eine Linie des Gesammtbildes fest zu fixiren, so glaube ich nach meinen n beschriebenen Erfahrungen doch annehmen zu dürfen, dafs er in hrheit die Augen so gestellt hat, dafs beide Linien in nahe gleich weit einander entfernten Doppelbildern gesehen worden wären, falls er die teren hätte unterscheiden können, so dafs die wahren Abstände der vermelzenden Doppelbilder nur etwa halb so grofs, oder etwas mehr als b so grofs sein möchten, als die Differenzen der beiden verglichenen stände.

Ich lasse hier (Anfang der folgenden Seite) eine Übersicht von Volkn's Resultaten folgen, deren jedes einzelne das Mittel aus 15 Beobtungen ist. Die Werthe der Distanz *cd* sind die äufsersten, welche *ab* zu vereinigen waren, die Längen sind in Millimetern angegeben.

Es zeigt sich in diesen Beobachtungen eine beträchtliche individuelle 735 schiedenheit für verschiedene Beobachter, und auch bei demselben Beobter für verschiedene Grade der Übung.

Für Herrn Volkmann selbst wurden nämlich, wie die Zahlen ergeben, Doppelbilder eher sichtbar, nachdem er zwei Monate lang ähnliche Verne fortdauernd angestellt hatte. Dafs für ihn überhaupt die Doppelbilder

---

[1] A. W. Volkmann, *Archiv für Ophthalmologie.* V, 2, S. 32—59.

Nr.	Beobachter	*ab*	*cd*	*ab — cd*	Bemerkungen.
1	VOLKMANN	5,3	3,46 7,57	+ 1,84 — 2,27	Linien vertical
2	"	5,3	4,52 6,62	+ 0,78 — 1,32	ebenso, zwei Monat. später
3	"	1,5	0,91 3,25	+ 0,59 — 1,75	ebenso
4	"	8,0	5,91 10,99	+ 2,09 — 2,99	ebenso
5	"	5,3	4,88 6,05	+ 0,42 — 0,75	Linien horizontal
6	"	1,5	1,15 1,97	+ 0,45 — 0,47	ebenso
7	"	8,3	7,26 9,01	+ 1,04 — 0,71	ebenso
8	SOLGER	5,3	2,13 10,00	+ 3,17 — 4,70	Linien vertical
9	"	5,3	4,66 5,91	+ 0,64 — 0,61	Linien horizontal
10	KRAUSE	5,3	3,21 8,48	+ 2,09 — 3,18	Linien vertical
11	"	5,3	4,92 5,86	+ 0,38 — 0,56	Linien horizontal

bei kleineren Unterschieden der Bilder schon sichtbar wurden, als für d beiden anderen Beobachter, mag sich ebenfalls daraus erklären, dafs er v Anfang in physiologisch-optischen Beobachtungen viel geübter war; doch i auch wohl anzunehmen, dafs überhaupt die Geschicklichkeit im Augenmaa bei verschiedenen Anwendungen desselben beträchtliche individuelle Ve schiedenheiten zeigen wird. Die Zahlen zeigen ferner, dafs, wie schon ob erwähnt worden ist, verticale Abweichungen in den beiden Gesichtsfelde zwischen horizontalen Linien viel leichter erkannt werden, als horizontal die letzteren zeigen auch eine geringere Breite individueller Abweichun Wenn man dabei berücksichtigt, dafs wahrscheinlich nur die halbe Breite d angegebenen Differenzen zu nehmen ist, dafs davon noch die Breite der Lini selbst mit etwa $^1/_{10}$ Millimeter abgeht, dafs endlich der kleinste sichtba Abstand in 150 Millimeter Entfernung etwa $^1/_{20}$ Millimeter beträgt, so blei bei einigen von den Versuchen an den Horizontallinien für die Verschmelzu in der That wenig Breite übrig. Andere Versuchsreihen von VOLKMAN zeigen, dafs überhaupt bei wachsendem Winkel zwischen den Linienpaare und der Verticallinie die zu verschmelzenden Unterschiede ihrer Abständ

ntinuirlich kleiner werden und ihr Minimum bei horizontaler Richtung igen.

Weiter suchte VOLKMANN auch die gröfsten Unterschiede der Richtung zweier Linien auf, welche die stereoskopische Vereinigung derselben noch liefsen. Beide Linien waren als Durchmesser auf drehbaren Scheiben ge-gen, wurden erst mit einander parallel gestellt unter dem in der Tabelle merkten Winkel gegen die Verticale. Dann wurde die rechte Scheibe so it bald nach rechts, bald nach links gedreht, bis die stereoskopische Ver-nigung aufhörte, die Differenz in der Richtung beider Linien ist dann als inkelabstand angegeben. Die Zahlen sind Mittelwerthe aus je 20 (VOLK- 736
ANN) oder 30 (SOLGER) Beobachtungen; die Länge der Linien ist mit D zeichnet.

Winkel mit der Verticale	Winkelabstand VOLKMANN $D = 60$ Mm.	Winkelabstand VOLKMANN $D = 20$ Mm.	Winkelabstand SOLGER $D = 60$ Mm.
0°	5,5°	7,4°	17,5°
10°	5,1°	6,9°	15,5°
20°	4,4°	6,1°	14,0°
30°	3,8°	5,8°	11,5°
40°	3,7°	5,3°	10,2°
50°	3,4°	4,4°	8,9°
60°	2,7°	4,1°	6,2°
70°	2,4°	3,3°	4,5°
80°	1,9°	2,8°	3,9°
90°	1,5°	2,1°	2,9°

Es geht daraus hervor, wie nahehin verticale Linien bei viel gröfseren nterschieden ihrer Richtung mit einander verschmelzen, als nahehin horizon-e, und dafs auch hier beträchtliche individuelle Unterschiede vorkommen. ırzere Linien verschmelzen leichter als längere.

WHEATSTONE, der Erfinder des Stereoskops, schlofs aus seinen Ver-chen, dafs ebenso, wie disparate Bilder bei der stereoskopischen Projection eines vereinigt werden könnten, so auch correspondirende Punkte zweier tzhautbilder an zwei verschiedene Stellen des Raums verlegt und also ppelt gesehen werden könnten. Diese Folgerung ist vielfach bestritten rden. Wenn man sie aber nur in ihrem richtigen Sinne und ihrer noth-ndigen Beschränkung auffafst, wird sie nicht wohl geleugnet werden nnen. Denn wenn einmal zugegeben wird, dafs unter gewissen Umständen d in gewissem Sinne disparate Bilder einfach gesehen werden, so folgt thwendig, dafs unter denselben Umständen und in demselben Sinne auch respondirende Bilder doppelt gesehen werden müssen. Es seien AC und D *Fig. 251* (S. 886) zwei Flächen, A und B grün, C und D roth. Sie mögen end welchen stereoskopischen Bildern angehören und für den Beschauer h vereinigen in das einfache Bild einer gegen ihn geneigten Fläche, 737
bei die Linie ab sich mit der Linie cd vereinigt, obgleich diese Linien

in ihrer Richtung nicht genau correspondiren. Die fixirten Punkte bei Zeichnungen mögen *f* und *g* sein und senkrecht über diesen die beid correspondirenden Punkte *h* und *i* liegen. Die letzteren werden auf v schiedenen Seiten von *ab* und *cd* liegen können, weil diese Linien der A nahme nach nicht correspondirende sind. In der Figur sind die Punkte du Kreuzchen bezeichnet, aber nur um ihre Lage anzudeuten; es wird genommen, dafs sie sich in den stereoskopischen Bildern von dem Grun auf dem sie liegen, durch nichts auszeichnen. Dann wird in dem geme samen Bilde der scheinbar wahrgenommenen geneigten Fläche alles Gr links, alles Roth rechts von der binocular gesehenen Grenzlinie bei Flächen gesehen, also auch nothwendig der im Grün liegende Punkt *h* lin der im Roth liegende correspondirende Punkt *i* rechts von der Grenzli beider Farben. Die Ordnung der Punkte in jedem einzelnen Sehfelde w offenbar durch den gemeinschaftlichen Sehact nicht umgeändert werd

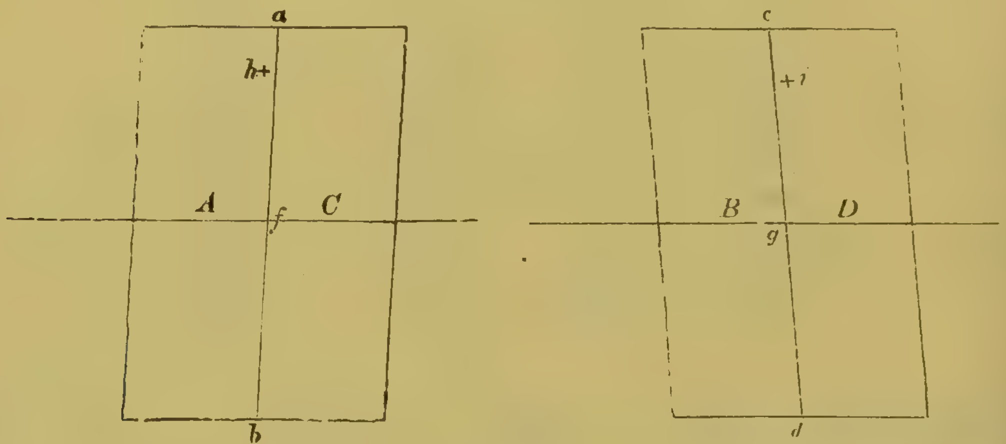


Fig. 251.

können. Die beiden Punkte *h* und *i* werden dann also auf zwei ve schiedenen Punkten der scheinbar vorhandenen geneigten Fläc localisirt, nicht aber auf zwei Punkte des Sehfelds; denn auf dieses wi hierbei überhaupt nicht geachtet. Aber natürlich wird das eben nur so lan geschehen, als unter dem Einflufs des körperlichen Anschauungsbildes ei genaue Vergleichung der relativen Lage von *ab* und *cd* zu den Netzha horizonten verhindert wird. Sobald wir unsere Aufmerksamkeit von de scheinbar vorhandenen körperlichen Objecte ab und der Form der Bild im Sehfelde zulenken, wird es uns bei hinreichender Übung vielleicht g lingen, die Linien *ac* und *cd* von einander getrennt zu sehen, zwisch ihnen einen Streifen, auf dem sowohl Grün wie Roth liegt, und hier d Grün des Punktes *h* mit dem Roth des Punktes *i* zusammenfallend.

Ich bemerke hierbei noch, dafs von den Vertheidigern der angeboren Identität der Netzhautstellen angenommen wird, durch den sogenannten We streit der Sehfelder würden in einem solchen Falle die Theile des ande Bildes, welche den Grenzen der farbigen Flächen entsprächen, ausgelösch

Unmittelbar neben jeder Contour würde das Grün und Roth, was ihr anliegt, den correspondirenden gleichfarbigen rothen oder grünen Grund unterdrücken. Aber auch dies zugegeben, so würde doch die Lage der Punkte *h* und *i* so gewählt werden können, dafs auf ihnen Gleichgewicht des Wettstreits stattfände, und dann würden alle unsere Einwände wieder gelten.

Die Punkte *h* und *i* dürfen übrigens nicht gleichartig bezeichnet sein in der Zeichnung, weil sie sonst die Vorstellung eines Objects, welches hinter der vereinigten Linie *ab*—*cd* läge, hervorbringen würden; dann würde also in der Raumanschauung das neben einander Liegen der Punkte und Linien nicht in Betracht kommen.

Will man solche Deckpunkte, deren Bilder getrennt erscheinen sollen, bezeichnen, so mufs man sie verschieden bezeichnen. Hierfür hat Wheatstone einen viel besprochenen Versuch vorgeschlagen, bei dem in dem einen Sehfelde eine starke schwarze Linie, in dem andern mit ihr correspondirend eine ganz feine steht. Diese wird aber unter einem kleinen Winkel von einer andern starken gekreuzt, und bei stereoskopischen Com- 738
binationen vereinigen sich scheinbar die beiden starken Linien zu einer gegen die Papierfläche geneigten Linie, während die schwache daneben in der Papierfläche erscheint. In Wheatstone's Figur sind nun allerdings die Neigungsunterschiede der beiden zu vereinigenden Linien so grofs, dafs die meisten Beobachter sie leicht in Doppelbildern sehen werden, wie dies auch von verschiedenen Seiten hervorgehoben ist. Wheatstone selbst gehört offenbar zu denjenigen Beobachtern, die sehr weit getrennte Doppelbilder noch übersehen können, und es mufs jeder Beobachter die Neigungsunterschiede der zu vereinigenden Linien seinen Augen anpassen. Ich finde die Wirkung noch sicherer, wenn man jederseits eine starke und eine schwache Linie zieht, die sich unter einem Winkel kreuzen, so dafs eine starke der schwachen der andern Seite correspondirt, wie dies in *M*, *Taf. V*, für meine Augen passend geschehen ist. Für Beobachter mit anderer Divergenz der scheinbar verticalen Meridiane würde freilich eine etwas andere Stellung der Figuren nöthig sein. In der genannten Figur hier vereinigt sich mir die starke mit der starken, die schwache mit der schwachen Linie, und es gelingt mir in keiner Weise zu sehen, dafs die linke starke sich mit der rechten schwachen deckt. Nur wenn ich durch veränderte Divergenz der Augen die Bilder aus einander schiebe, sehe ich, dafs die genannten beiden Linien einander vollkommen parallel erscheinen. Man mufs auch nicht glauben, dafs eines der Bilder beim Beschauen ganz verschwände und übersehen würde; dann könnte keine stereoskopische Wirkung da sein. Es erscheint aber das gekreuzte Linienpaar deutlich mit dem oberen Ende dem Beschauer genähert, wenn man seine Lage mit den daneben gezogenen dünnen Verticallinien vergleicht. Eine solche stereoskopische Wirkung würde nicht eintreten können, wenn die rechte dünne Linie gar nicht gesehen würde.

Eine ähnliche Wirkung erhält man von der *Fig. N*, *Taf. V*, wo die

beiden äufseren Grenzlinien der oberen Hälfte des schwarzen Streife correspondiren, und ebenso ihre Fortsetzungen, die inneren Grenzlinien, d unteren Hälfte. Im Gesammtbilde sieht man einen schwarzen Streifen, u an diesem erscheinen die beiden Grenzlinien, die sich correspondiren, entgegengesetzten Seiten. Auch in dieser Figur wird die Neigung d schwarzen Dreiecke von solchen Beobachtern, die eine andere Divergenz d verticalen Meridiane haben, etwas geändert werden müssen.

In den Beispielen *M* und *N* werden es die meisten Beobachter unmögli finden, zu sehen, dafs die sich scheinbar vereinigenden Linien im gemei samen Gesichtsfelde sich wirklich nicht decken, und dafs im Gegentheil d rechte dünne und linke dicke Linie der Figur *M*, die entgegengesetzt Ränder der Streifen in *N* aufeinanderfallen. Ich will indessen nicht leugne dafs bei einem in der Beobachtung von Doppelbildern recht geübten B schauer die Beobachtung gelingen könnte. Ich selbst bemerke wohl mi unter bei recht scharfer Fixirung der Mittelpunkte, dafs ich die betreffend Linien nicht eigentlich einfach sehe, aber ohne die Doppelbilder bestimn trennen zu können. Noch leichter trennt man sie, wenn man, wie W. Bezold, die Figuren mit Tusche auf einer Glasplatte ausführt, so dafs ma
739 bei plötzlich geänderter Beleuchtung die eine hell auf dunklem Grunde, d andere dunkel auf hellem Grunde sehen kann. Dann schwindet das Strebe zur Verschmelzung, und man erkennt leicht die disparate Lage der Bilde Ich will hier nur hervorheben, und nur das kann ich als den wahren Sin des Wheatstone'schen Versuchs betrachten, dafs, so lange man in die körpe liche Anschauung versenkt bleibt, selbst bei festgehaltenem Fixationspunkt die Eindrücke correspondirender Punkte benutzt werden, um differente Theil des körperlichen Gesammtbildes auszufüllen. Wenn man sich unter Un stände versetzt, welche einen Irrthum in der Vergleichung der zwei ve schiedenen Bilder beider Sehfelder möglichst begünstigen, werden Bild disparater Punkte vereinigt und Bilder correspondirender Punkte getrenn Das erstere kann, wie gezeigt wurde, sogar nicht ohne das andere vor sic gehen; das zweite ist eine logische Folge des ersten. Daraus folgt abe nicht, wenn man die Art der Beobachtung passend verändert, um die Ve gleichung der Bilder beider Sehfelder möglichst ungestört vollziehen z können, und sich die Bilder disparater Punkte in Folge dessen trennen, da dann die Bilder correspondirender Punkte sich nicht wieder vereinige sollten.

Hinzuzufügen ist noch, dafs auch bei der Beleuchtung durch den elek trischen Funken die stereoskopische Combination der letzt beschriebene Figuren *M* und *N* ganz vollkommen eintritt, und dafs man dabei keine Spu von den Doppelbildern sieht, die im gemeinsamen Sehfelde erscheinen sollten wenn die Bilder correspondirender Punkte einfach auf einander gelegt würden Die Wirkung ist also durchaus nicht von Augenbewegungen abhängig.

Wir haben noch einige andere Umstände zu besprechen, die bei der Ver schmelzung von zwei verschiedenen Netzhautbildern zu berücksichtigen sind

Erstens ist zu bemerken, dafs, so lange stereoskopische Tiefenwahrnehmung da ist, nicht, wie einige Anhänger der angeblichen Identität der Netzhäute angenommen haben, das eine der beiden Doppelbilder etwa deshalb verschwindet, weil es vollständig übersehen wird und gar nicht zur Empfindung kommt. Wenn letzteres der Fall wäre, würde keine binoculare Tiefenwahrnehmung stattfinden können, die eben nur auf der Verschiedenheit der Bilder und auf der Perception dieser Verschiedenheit beruht. Ja, die sehr grofse Genauigkeit der Tiefenwahrnehmung zeigt sogar, dafs die Verschiedenheit der Bilder auch mit grofser Genauigkeit wahrgenommen wird, freilich nicht als eine Verschiedenheit in der Ausfüllung der Sehfelder, sondern nur als sinnlicher Ausdruck der verschiedenen Entfernung der Objectpunkte. Wo keine Tiefenwahrnehmung zu Stande kommt, da kommt es allerdings vor, dafs einzelne Theile der Bilder zeitweise oder ganz verlöschen; wir werden diese Fälle im nächsten Paragraphen genauer zu besprechen haben.

Zweitens ist noch der Einflufs der Augenbewegungen auf die Verschmelzung der Doppelbilder zu besprechen. In dieser Beziehung hat E. Bruecke die Meinung aufgestellt, dafs wir eine Wahrnehmung der Tiefendimensionen des Objects nur dadurch bekommen, dafs wir fortdauernd mit den Blicklinien an den verschiedenen Contouren des gesehenen Objects entlang laufen und hierbei nach einander alle einzelnen Punkte dieser Contouren auf den identischen Centren der Netzhautgrube abgebildet erhalten. Da nun unsere Aufmerksamkeit der Regel nach auf die Bilder der am genauesten sehenden Stelle 740
der Netzhaut concentrirt ist, so konnte mit Grund die Frage aufgeworfen werden, ob nicht deshalb die Doppelbilder der übrigen Theile des Objects übersehen werden, weil für gewöhnlich die am genauesten gesehenen und unsere Aufmerksamkeit am meisten fesselnden Theile der Bilder correspondirende sind. Es ist dieser Ansicht von Bruecke gegenüber zuzugeben, dafs in der That die darin betonten Momente von grofsem Gewicht für die Gewinnung vollständiger Tiefenanschauungen sind, und dafs die von ihm gegebene Beschreibung der Art, wie sie entstehen, den Verhältnissen des gewöhnlichen unbefangenen Sehens vollkommen entspricht. Eine Vereinigung von sehr differenten Bildern gelingt in der That nur mittels der Augenbewegungen, indem man nach einander die einzelnen Theile der Bilder einfach sieht und die Aufmerksamkeit ihren natürlichen Gang gehen läfst, wobei sie immer auf diejenigen Theile vorzugsweise gerichtet ist, welche fixirt werden. Auch wird durch dieses Herumführen des Blicks die Tiefenanschauung entschieden genauer und lebendiger, als bei Fixation eines Punktes, was ich daraus erklären möchte, dafs nur die Tiefenunterschiede derjenigen Bildpunkte genau erkannt werden, die dem jedesmaligen Horopter sehr nahe liegen. Dadurch also, dafs man die Convergenz wechseln läfst und nach einander alle Punkte des wirklichen oder scheinbaren Objects in den Horopter oder ihm mindestens sehr nahe bringt, erhält man nach einander eine genaue Anschauung aller Tiefenunterschiede. Fixirt man den Blick längere Zeit

auf einen Punkt, so treten im Gegentheil die Doppelbilder leichter hervo
und die Tiefenunterschiede namentlich derjenigen Punkte, welche in seh
disparaten Doppelbildern erscheinen, werden undeutlich. Ja, die Doppelbilde
welche man durch sehr anhaltende strenge Fixation eines Punktes nicht vo
einander lösen kann, liegen so nahe an der Grenze der Unterscheidungs
fähigkeit der Augen, dafs ich glaube annehmen zu dürfen, dafs sie nu
wegen der unvermeidbaren kleinen Augenbewegungen nicht auch aufgelöst
werden. Indessen war die von Bruecke aufgestellte Theorie etwas zu aus
schliefslich, wenn er meinte, dafs alle Tiefenwahrnehmungen nur durc
Augenbewegungen gewonnen und alle Doppelbilder nur durch successive
Einfachsehen der einzelnen Punkte beseitigt werden könnten. Es wurd
nämlich von Dove gezeigt, dafs auch bei instantaner Beleuchtung durch eine
elektrischen Funken stereoskopische Effecte erhalten und Doppelbilder ve
schmolzen werden können. Es kann dazu der auf Seite 710 beschrieben
Apparat gebraucht werden. Nur mufs man dafür sorgen, dafs im Moment
der elektrischen Beleuchtung die beiden Blicklinien auf correspondirend
Theile des Bildes gerichtet seien. Zu dem Ende pflege ich zwei feine Nade
stiche durch correspondirende Punkte der zu vereinigenden Zeichnungen z
machen. Die Wand des dunkeln Kastens, in welchem das Bild angeheft
wird, ist hinter diesen Nadelstichen selbst durchbohrt und das Zimmer nic
ganz verdunkelt, so dafs der Beobachter die beiden Nadelstiche mittels de
schwachen hindurchfallenden Lichtes sehen kann. Er richtet auf sie d
Blicklinien, so dafs ihre Bilder im gemeinschaftlichen Sehfelde sich decke
und dann läfst er den Funken überschlagen. Dabei geben stereoskopisch
Zeichnungen von nicht zu grofsen Differenzen, wie *E*, *M* und *N*, *Taf. I*
741 und *V*, ganz deutliche und lebendige Tiefenanschauung ohne wahrnehm
bare Doppelbilder; solche von gröfseren Differenzen, wie *H*, zerfallen abe
in einzelne Linien und geben keine Tiefenanschauung. Auch alle üb
einander stehenden Horizontallinien, wie in *F*, trennen sich auffallend leich
Hat man dabei einfache Zeichnungen von wenigen Linien vor sich, so übe
sieht man bei der instantanen Beleuchtung das Ganze auf einmal. Hat ma
dagegen complicirte stereoskopische Photographien vor sich mit vielen Einze
heiten, so gewinnt man nur von einem gewissen Theile des Ganzen eine
deutlichen Eindruck und braucht mehrere Funken, um nach einander da
Ganze zu übersehen. Dabei ist es sonderbar, dafs während man die beide
Nadelstiche fest fixirt und in Deckung erhält, man willkürlich vor de
Funken die Aufmerksamkeit auf eine beliebige Stelle des dunklen Gesicht
feldes richten kann, und dann während des Funkens einen Eindruck nur vo
den Objecten erhält, die in dieser Gegend des Sehfeldes erscheinen. Es i
in dieser Beziehung die Aufmerksamkeit ganz unabhängig von der Stellun
und Accommodation des Auges, überhaupt von irgend einer der bekannte
Veränderungen in und an diesem Organe, und demgemäfs kann sie mit eine
selbstbewufsten und willkürlichen Anstrengung auf eine bestimmte Stell
in dem absolut dunklen und unterschiedslosen Gesichtsfelde hingerichte

werden. Es ist dies einer der auffallendsten Versuche für eine künftige Theorie der Aufmerksamkeit.

Die Versuche mit momentaner Beleuchtung sind auch noch insofern für die Rolle, welche die Aufmerksamkeit bei den Doppelbildern spielt, interessant, als es bei solchen Bildern, die wie *J* ohne grofse Anstrengung sowohl stereoskopisch einfach, als auch mit geringer Mühe als Doppelbilder gesehen werden können, leicht gelingt, beides auch beim Lichte des elektrischen Funkens zu sehen. Der erste Eindruck ist gewöhnlich der stereoskopisch einfache; wenn man aber in Pausen von etwa 10 Secunden, in denen die Nachbilder vollständig erlöschen können, die Beobachtung wiederholt, so fängt man an die Doppelbilder zu sehen, trotzdem man immer denselben Punkt fixirt und jede nachfolgende Lichteinwirkung der ersten absolut gleich ist. Ja, selbst bei solchen Figuren, wie *M*, wo es mir relativ schwer wird die Doppelbilder zu sehen, kann ich sie auch bei instantaner elektrischer Beleuchtung endlich sehen, wenn ich mir vorher lebhaft vorzustellen suche, wie sie aussehen müssen. Der Einflufs der Aufmerksamkeit ist hier reiner zu beobachten, weil jede Einwirkung der Augenbewegungen ausgeschlossen ist. Die gleichen Versuche können auch mit Volkmann's schon oben beschriebenem Tachistoskop ausgeführt werden.

Ferner ist zu bemerken, dafs es verschiedenen zuverlässigen Beobachtern, wie Wheatstone[1], Rogers[2] und Wundt[3], gelungen ist, auch Nachbilder, welche nicht ganz genau correspondirende Lage hatten, zu einer stereoskopischen Tiefenwahrnehmung zu verschmelzen. Rogers hat es sogar möglich gefunden, erst das Nachbild in dem einen, dann im andern Auge zu entwickeln und schliefslich beide Nachbilder stereoskopisch zu combiniren. Dadurch ist der Einflufs, den die vorausgängige Anschauung der wirklichen Bilder auf die Deutung der Nachbilder allenfalls haben könnte, vermieden. 742
An positiven Nachbildern, die ich selbst durch momentanes Anschauen hell beleuchteter Gegenstände entwickelt hatte, habe ich übrigens auch deutliche Tiefenanschauung gehabt.

Auch diese Versuche zeigen, wie die mit dem elektrischen Funken, dafs keine Bewegung der Augen nöthig ist, um Tiefenwahrnehmung zu vermitteln, denn bei jeder Bewegung verschieben sich die Nachbilder mit dem Auge und durch keine Augenbewegung können disparate Bilder zu correspondirenden gemacht werden. Übrigens gelingen die Versuche mit den Nachbildern schwer; diese müssen sehr scharf entwickelt sein, und selbst wenn sie es sind, besteht immer eine Neigung, sie auf die Fläche des reellen Hintergrunds, den man anschaut, zu projiciren und als blofse Flecke auf dessen Oberfläche anzusehen.

Panum hat die Regel für das Verschmelzen der Doppelbilder in der Weise ausgesprochen, dafs einander ähnliche Contouren, welche auf nahehin

---

[1] Wheatstone, *Phil. Transact.* 1838. T. II, p. 392—393.
[2] Rogers, *Silliman's Journal* (2) XXX, November 1860.
[3] Wundt, *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* S. 286—287.

correspondirenden Netzhautpunkten sich abbilden, mit einander verschmelzer sollen. Er bezeichnet dabei den Umfang derjenigen Punkte der andern Netzhaut, welche mit ein und demselben Punkte der ersten Netzhaut verschmelzen können, als den correspondirenden Empfindungskreis jenes Punktes. Diesen Empfindungskreisen schreibt er nach Maafsgabe der oben erörterten Thatsachen einen gröfseren horizontalen Durchmesser, einen kleineren verticalen zu. Ich habe dagegen in der hier gegebenen Darstellung das Verschmelzen der Doppelbilder davon abhängig gemacht, dafs die Sicherheit und Genauigkeit der Abmessungen des Augenmaafses für die entsprechenden Dimensionen beider Bilder nicht grofs genug sei, um nicht Irrthümer zu erlauben, und dafs ein solcher Irrthum begünstigt werde durch die Anschauung des einen körperlich ausgedehnten Objects, welches man vor sich hat oder vor sich zu haben glaubt. Es hat schon Volkmann gegen Panum's Fassung des Gesetzes solche Fälle, wie *G*, *Taf. IV*, geltend gemacht, wo durch Zusetzung eines Punktes oder anderer kleiner Incongruenzen beider Bilder die Verschmelzung gestört wird. Panum hat dawider entgegnet, dafs in diesen Fällen immer eine Unähnlichkeit der Contouren auftrete, welche auch nach seiner Fassung des Gesetzes die Verschmelzung hindern müfste. Gegen andere Versuche von Volkmann, aus denen hervorgeht, dafs Linienpaare von kleinem Abstande bei gleicher Differenz des Abstandes nicht so leicht verschmelzen, als solche von gröfseren Abständen, hat er die Antwort gegeben, dafs eng an einander stehende Linien sich bei der Fixation ganz nahe am Centrum der Netzhaut abbilden, und dafs dort die correspondirenden Empfindungskreise kleiner seien und deshalb die Doppelbilder nicht verschmelzen könnten. Volkmann's letzterwähnte Beobachtung können wir aber in folgender Weise wiederholen. In *Fig. U*, *Taf. VII*, sind jederseits 5 Linien gezeichnet; die Paare 1 und 3, sowie 4 und 5 haben in der linken Gruppe den Abstand von 4 Millimeter, in der rechten von 5 Millimeter. In das Innere des Paares 1—3 ist jederseits noch die Linie 2 hineingesetzt worden, welche beiderseits von 1 den gleichen Abstand von 3 Millimeter hat und daher von der Linie 3 links nur 1, rechts aber 2 Millimeter absteht. Fixirt man nun die Linie 4 des Gesammtbildes, so erscheint 5 einfach und
743 etwas nach hinten liegend. Fixirt man dagegen fest und sicher 1, so erscheinen die beiden Linien 3 von einander getrennt, die Linie 2 dagegen natürlich einfach und mit 1 in gleichem Tiefenabstande. Nur bei Bewegungen des Blicks kann man auch 3 einfach sehen, wobei dann die ganze Gruppe als ein vierkantiges senkrechtes Prisma erscheint, auf dessen vorderer Fläche noch eine Linie, nämlich 2, parallel mit den Kanten gezogen ist. Nun liegen aber bei der Fixation der Linie 1 des Gesammtbildes die beiden Linien 3 gerade so auf den Netzhäuten, wie bei Fixation von 4 die beiden Linien 5 liegen. Das Hindernifs der Vereinigung besteht offenbar in der Linie 2, die aber nicht zwischen beiden, sondern links von beiden liegt, und nach Panum's Fassung des Gesetzes die Vereinigung nicht hindern sollte. Fafst man aber die Vereinigung der Doppelbilder als eine Täuschung des Augenmaafses, so

ist aus dem FECHNER'schen Gesetze klar, dafs die Unterscheidung zwischen 1 und 2 Millimeter des Abstandes, wie ihn die Linien 2 und 3 haben, sicherer sein mufs, als zwischen 4 und 5 Millimeter bei den Linien 4 und 5.

Auch bei den Versuchen mit Kreisen kommt Ähnliches vor. Wenn man zwei etwas ungleiche Kreise gezeichnet hat, die sich binocular verschmelzen lassen, und man umgiebt beide concentrisch mit einem andern Kreise, der auf beiden Seiten gleichen Radius hat, einen Radius wenig gröfser als der des gröfseren der beiden ersten Kreise, so trennen sich jetzt die Bilder der beiden innern Kreise verhältnifsmäfsig leicht.

Eine Frage endlich, die sich hier anschliefst und die ebenfalls in theoretischer Beziehung Wichtigkeit hat, ist die, ob wir die Eindrücke des einen Auges von denen des andern unterscheiden. In dieser Beziehung ist zu bemerken, dafs wir auch bei instantaner elektrischer Beleuchtung die Tiefenunterschiede stereoskopisch gesehener Liniengruppen immer richtig sehen, niemals verkehrt, und dafs selbst, wenn ich mir möglichst deutlich das umgekehrte Relief der Figur vorzustellen suchte, um mit Absicht eine Täuschung herbeizuführen, was mir bei der Umkehrung des Reliefs von Medaillen bei monocularer Betrachtung meist schnell gelingt, ich es unmöglich fand, das stereoskopische Relief zu ändern[1]. Eine solche Verkehrung des Reliefs würde aber nothwendig eintreten müssen, wenn man den Eindruck der beiden Netzhautbilder verwechseln könnte mit demjenigen Eindrucke, welcher bei Vertauschung der beiden Netzhautbilder unter einander eintreten würde. Daraus folgt also zunächst, dafs der momentane Eindruck, den zwei Netzhautbilder machen, deutlich und bestimmt verschieden sein mufs von demjenigen, welchen dieselben Netzhautbilder machen würden, wenn jedes auf die correspondirenden Punkte des andern Auges übertragen würde.

Etwas anderes ist es, dafs wir für gewöhnlich kein bestimmtes Bewufstsein davon haben, mit welchem Auge wir das eine oder andere Bild sehen. Das wissen wir nicht oder nur unvollkommen und nur durch nebensächliche Umstände zu beurtheilen, wie wir denn aus unseren Sinnesempfindungen nichts herauszulesen wissen, was wir nicht durch oft wiederholte Beobachtungen als ihre Bedeutung kennen gelernt haben. Dafs also zwei nahe an einander stehende Doppelbilder gewisser Art mit gewissen Localzeichen ein 744
Object, welches ferner von uns ist als der Fixationspunkt, und nicht ein näheres bedeuten, können wir vollkommen gelernt haben, ohne doch genügende Übung zu haben, um aus den Localzeichen der Bilder herauszulesen, welches von den beiden Halbbildern dem rechten oder linken Auge angehöre. Um letzteres zu ermitteln, müssen wir erst das eine Auge schliefsen oder verdecken, was wir beim gewöhnlichen Sehen nicht thun, wobei wir, wie oben erwähnt, auf die Doppelbilder ja auch gar nicht zu achten pflegen.

---

[1] Dieselben Beobachtungen von AUBERT und MARBACH in *Aubert, Physiologie der Netzhaut.* S. 315. Breslau 1865, mit vielfach abgeänderten Figuren. Neuerdings hat auch DONDERS im Wesentlichen dieselben Resultate erhalten.

Wir wissen deshalb in der Regel auch ohne einen besonders darauf zielenden Versuch nicht anzugeben, welchem Auge das eine, welchem das andere Doppelbild angehört. Auch die Augenbewegungen helfen dabei nicht viel, weil wir bei Convergenzbewegungen — und auf solche käme es hier an — keine deutliche Vorstellung davon haben, nach welcher Richtung sich jedes einzelne Auge verschiebt.

Dagegen sehen wir fortdauernd die am weitesten rechts gelegenen Theile des gemeinsamen Gesichtsfeldes nur mit dem rechten Auge; dem linken werden sie durch die Nase verdeckt; und ebenso sehen wir die ganz links gelegenen Objecte nur mit dem linken Auge, und dem entsprechend urtheilen wir denn leicht, dafs, wenn jene Gegend des Gesichtsfeldes einem Auge ganz verdunkelt ist, wir die gesehenen Objecte mit dem andern Auge sehen. Rogers hat einen Versuch mit auffallendem Erfolge angegeben, der hierher gehört. Man mache aus schwarzem Papier eine Röhre von etwa 2 Zoll Durchmesser, halte sie vor das rechte Auge und sehe damit nach dem Hintergrunde des Zimmers, am besten nach links hinüber, während man gleichzeitig einige Zoll vor dem linken Auge ein Quartblatt schwarzen Papiers hält, welches diesem den gesehenen Theil des Zimmerhintergrundes verdeckt. Dann tritt sehr energisch die Täuschung ein, als sähe man mit dem linken Auge durch eine Öffnung des Papiers nach dem Hintergrunde des Zimmers, während doch das Papier keine Öffnung hat, und nicht das linke, sondern das rechte Auge durch die Öffnung der Röhre blickt.

Übrigens mufs ich doch wiederum bemerken, dafs, wenn ich zwei stereoskopische Photographien vor mir habe, von denen eine einen dunklen oder verwaschenen Fleck hat, ich gewöhnlich den Eindruck habe, als wäre das Auge, womit ich den Fleck sehe, getrübt, und dafs ich unwillkürlich versuche, mit den Lidern dieses Auges die Trübung wegzuwischen, was doch ein Zeichen ist, dafs ich in einem solchen Falle empfinde, in welchem Auge die undeutliche Stelle abgebildet ist.

Was die Richtung betrifft, in der wir die Doppelbilder sehen, so ergiebt sich diese aus dem, was über die Richtung der monocular gesehenen Bilder oben schon gesagt worden ist. Wir sehen das Bild jedes Auges so, als hätte das von E. Hering angenommene imaginäre cyklopische Auge das entsprechende Netzhautbild erhalten, während es nach dem Fixationspunkte hingerichtet ist. Wird also binocular gesehen, so kann man sich beide Netzhautbilder in das imaginäre cyklopische Auge sich gegenseitig deckend eingetragen denken, und dann entsprechend in den Raum projicirt. Ihre Entfernung vom Beobachter wird so weit richtig beurtheilt, als die bei
745 Doppelbildern unvollkommene stereoskopische Tiefenwahrnehmung und die Hilfsmittel der monocularen Beurtheilung der Entfernung dies möglich machen. Aus der angegebenen von E. Hering und J. Towne[1] gemachten Beobachtung

[1] Herr J. Towne hat die wichtigen Beobachtungen über die scheinbaren Sehrichtungen unabhängig von Herrn E. Hering gemacht. Er berichtet mir brieflich, dafs er die Versuche schon im Jahre 1859 gezeigt habe. Seine Publicationen, so weit sie mir bekannt geworden sind, datiren aber erst von 1862 ab.

erklärt sich nun auch, warum die Doppelbilder immer getrennt in den Raum projicirt werden. Würden sie in der richtigen Richtung ihrer Visirlinien projicirt, so würden sie an denjenigen Ort verlegt werden können, wo die betreffenden Visirlinien sich schneiden, und dann einfach erscheinen. In Wahrheit wird aber durch die irrthümliche Beziehung der Sehrichtungen auf ein Centrum in der Mittelebene des Gesichts bewirkt, dafs zwei verschiedene Sehrichtungen vor dem Beobachter im Raume sich nie wieder schneiden können und die in ihrer Richtung projicirten Bildpunkte nothwendig immer getrennt bleiben müssen. Über den vermuthlichen Grund dieses Irrthums ist schon oben gesprochen worden.

Gesetze der correspondirenden Punkte und Linien. Man denke sich zwei Ebenen normal zu den beiden Blicklinien in gleicher Entfernung von deren Kreuzungspunkte. In der einen seien die Coordinaten x und y, in der andern ein beliebig gelegtes anderes System ξ und v. Für die Schnittpunkte der beiden Blicklinien mit den Ebenen sei $x = y = 0$ und $\xi = v = 0$. Die Ebenen der Netzhauthorizonte mögen die beiden Ebenen in den Linien

$$ax + by = 0 \quad \text{und} \quad \alpha\xi + \beta v = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

schneiden; die scheinbar verticalen Meridianebenen in den Linien

$$cx + dy = 0 \quad \text{und} \quad \gamma\xi + \delta v = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1\text{ a}).$$

Wenn nun die Coefficienten so gewählt sind, dafs

$$\left.\begin{aligned} a^2 + b^2 = \alpha^2 + \beta^2 = 1 \\ c^2 + d^2 = \gamma^2 + \delta^2 = 1 \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1\text{ b}),$$

welchen Bedingungen man immer dadurch Genüge leisten kann, dafs man beide Coefficienten je einer Gleichung mit einem constanten Factor multiplicirt, wobei die Gleichungen 1) und 1 a) weiter nicht geändert werden, so bedeutet nach einem bekannten Satze der analytischen Geometrie der Ausdruck

$$ax + by$$

die Entfernung des Punktes (x, y) von der Linie, deren Gleichung ist $ax + by = 0$. Entsprechende Bedeutung haben die andern Ausdrücke, die in den Gleichungen 1) und 1 a) gleich Null gesetzt sind. Den erwähnten Factoren, mit welchen die Coefficienten dieser Gleichungen zu multipliciren sind, kann man aufserdem ein solches Vorzeichen geben, dafs die Ausdrücke

$$ax + by \quad \text{und} \quad \alpha\xi + \beta v$$

positiv auf correspondirenden Seiten der beiden Netzhauthorizonte, und ebenso die Ausdrücke

$$cx + dy \quad \text{und} \quad \gamma\xi + \delta v$$

positiv sind auf correspondirenden Seiten der scheinbar verticalen Meridianebenen.

Die Versuche haben uns zu dem Gesetze geführt, dafs solche Punkte beider Ebenen correspondiren, welche gleich weit von den Ebenen der Netzhauthorizonte 746
abstehen und aufserdem gleich weit von den Ebenen der scheinbar verticalen

Meridiane entfernt sind. Sind die vorausgenannten Bedingungen bezüglich de[r] Coefficienten in den Gleichungen 1) und 1 a) erfüllt, so sind die Bedingungen de[r] Correspondenz:

$$\left.\begin{array}{l} ax + by = \alpha\xi + \beta v \\ cx + dy = \gamma\xi + \delta v \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1\,c$$

Eine gerade Linie des einen Feldes nennen wir correspondiren[d] einer des anderen Feldes, wenn jeder Punkt der ersten einen correspondirenden Punkt in der andern findet.

Wenn wir beliebige Constanten mit l, m, n bezeichnen, so ist die Linie:

$$l(ax + by) + m(cx + dy) + n = 0 \quad \ldots\ldots \quad 1\,d$$

correspondirend mit der Linie im andern Felde

$$l(\alpha\xi + \beta v) + m(\gamma\xi + \delta v) + n = 0 \quad \ldots\ldots \quad 1\,e$$

Denn wenn wir für irgend welche constanten Werthe von (x, y) im zweite[n] Felde die Linie ziehen:

$$\alpha\xi + \beta v = ax + by \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1\,f$$

so ist für deren Schnittpunkt mit der Linie 1 e) auch

$$\gamma\xi + \delta v = cx + dy,$$

wie aus der Subtraction der Gleichungen 1 d) und 1 e) in diesem Falle folgt. De[r] Schnittpunkt von 1 e) und 1 f) ist also in diesem Falle correspondirend mit de[m] Punkte (x, y).

Es wird sich die Gleichung jeder geraden Linie

$$fx + gy + h = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1\,g$$

leicht auf die Form 1 d) bringen lassen, indem man setzt

$$f = la + mc$$

$$g = lb + md$$

$$h = n$$

oder

$$l = \frac{df - gc}{ad - bc}$$

$$m = \frac{bf - ag}{bc - ad}$$

$$n = h,$$

wodurch die drei Coefficienten der Gleichung 1 d) eindeutig bestimmt sind. Inde[m] man dann aus der Gleichung 1 d) die Gleichung 1 e) bildet, findet man die corre[-] spondirende Linie von 1 g).

Wenn wir die Gleichung 1 d) dividiren durch

$$k = \sqrt{(la + mc)^2 + (lb + md)^2},$$

so kommt die Gleichung auf die Normalform der Flächengleichungen, wobei die Gröſse $\frac{n}{k}$ den Abstand zwischen der Fläche 1 d) und dem Nullpunkte der Coordi- 747
naten bezeichnet. Setzen wir

$$\varkappa = \sqrt{(l\alpha + m\gamma)^2 + (l\beta + m\delta)^2},$$

so bezeichnet $\frac{n}{\varkappa}$ dieselbe Distanz für die Fläche 1 e). Beide Distanzen sind also nur dann gleich, wenn

$$k^2 = \varkappa^2.$$

Mit Berücksichtigung der Gleichung 1 b) wird dies:

$$2ml\,(ac + bd) - 2ml\,(\alpha\gamma + \beta\delta) = 0.$$

Wenn nun nicht

$$ac + bd = \alpha\gamma + \beta\delta$$

st, das heiſst, wenn die beiden Ebenenpaare 1) und 1 a) in jedem Auge nicht leiche Winkel mit einander machen, so ist jene Bedingung nur zu erfüllen, wenn ntweder $m = 0$ oder $l = 0$ ist, das heiſst, wenn die Ebenen 1 d) und 1 e) entweder mit den Ebenen 1) oder mit den Ebenen 1 a) zusammenfallen. Diese beiden ind durch die angegebene Eigenschaft also vor allen anderen correspondirenden benenpaaren, welche durch die Blicklinie gehen, ausgezeichnet. Wir können deshalb die genannten beiden Ebenen als Hauptmeridianebenen bezeichnen.

Berechnung correspondirender Strecken und Winkel in beiden ugen. Legen wir der Bequemlichkeit wegen die x und ξ Axe in den Netzhautorizont, so wird in den Gleichungen 1)

$$a = \alpha = 0, \qquad b = \beta = 1$$

d setzen wir die Lage der scheinbar verticalen Meridiane, wie dies wenigstens der Regel sehr nahehin der Fall ist, als symmetrisch voraus, so ist zu nehmen

$$\frac{d}{c} = -\frac{\delta}{\gamma} = -\operatorname{tang}\varepsilon,$$

ε die Abweichung zwischen dem scheinbar und wirklich verticalen Meridiane es Auges bezeichnet. Dann ist

$$c = \cos\varepsilon \qquad \gamma = \cos\varepsilon$$
$$d = -\sin\varepsilon \qquad \delta = \sin\varepsilon.$$

Die Gleichungen der Netzhauthorizonte sind dann

$$y = 0 \text{ und } v = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1\,\text{h}),$$

der scheinbar verticalen Linien

$$x\cos\varepsilon - y\sin\varepsilon = 0 \text{ und } \xi\cos\varepsilon + v\sin\varepsilon = 0 \ldots\ldots \quad 1\,\text{i})$$

und die Gleichungen correspondirender Linien, welche durch die Blickpunkte gehen, werden nach 1d) und 1e)

$$xm \cos \varepsilon + y \, (l - m \sin \varepsilon) = 0$$

$$\xi m \cos \varepsilon + v \, (l + m \sin \varepsilon) = 0.$$

748 Sind s und σ die Winkel, welche diese Linien mit den Axen der x und ξ machen, so ist

$$\operatorname{tang} s = \frac{y}{x} = -\frac{m \cos \varepsilon}{l - m \sin \varepsilon}$$

$$\operatorname{tang} \sigma = \frac{v}{\xi} = -\frac{m \cos \varepsilon}{l + m \sin \varepsilon},$$

woraus folgt:

$$\operatorname{tang} (\sigma - s) = \frac{2 m^2 \cos \varepsilon \sin \varepsilon}{l^2 + m^2 \cos (2\varepsilon)}$$

$$\operatorname{tang} (\sigma + s) = -\frac{2 m l \cos \varepsilon}{l^2 - m^2}.$$

Setzen wir nun

$$\frac{m}{l} = \operatorname{tang} \beta,$$

so wird

$$\operatorname{tang} (\sigma - s) = \frac{\operatorname{tang}^2 \beta \,.\, \sin (2\varepsilon)}{1 + \operatorname{tang}^2 \beta \cos (2\varepsilon)}$$

$$\operatorname{tang} (\sigma + s) = - \operatorname{tang} (2\beta) \cos \varepsilon$$

oder da ε ein verhältnifsmäfsig kleiner Winkel ist und deshalb $\cos \varepsilon = \cos 2\varepsilon =$ 1 und $\sin (2\varepsilon) = 2\varepsilon$ gesetzt werden kann

$$\beta = -\frac{s + \sigma}{2}$$

$$\sigma - s = 2\varepsilon \sin^2 \beta.$$

Die Winkel s und σ sind von den Netzhauthorizonten ab gezählt. Sollen sie von der Visirebene ab gerechnet werden, so mufs zu der Differenz noch der Winkel γ hinzukommen, den die Netzhauthorizonte machen, und wir erhalten dann die oben gebrauchte Formel für ihre Differenz

$$\Delta = \gamma + 2\varepsilon \sin^2 \beta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Correspondirende Visirlinien und Ebenen. Ziehen wir durch jeden einzelnen eines Paars correspondirender Punkte und den Mittelpunkt der Visirlinien des zugehörigen Auges gerade Linien, so sind diese correspondirende Visirlinien. Punkte, die in solchen correspondirenden Visirlinien liegen, werden auf Deckstellen beider Netzhäute abgebildet.

Befindet sich in den bisher betrachteten Ebenen der (x, y) und (ξ, v) ein Paar correspondirender gerader Linien verzeichnet, so liegen deren Visirlinien alle

zwei durch die Mittelpunkte der Visirlinien gehenden Ebenen, welche correspondirende Ebenen genannt werden können.

Jedes Paar gerader Linien, welches in einem Paare correspondirender Ebenen gezogen ist, bildet sich auf correspondirenden Linien beider Netzhäute ab.

Wenn zwei correspondirende Ebenen sich schneiden, so bildet sich die Schnittlinie auf correspondirenden Linien beider Netzhäute ab.

Die Coordinaten der Mittelpunkte der Visirlinien seien

$$x = 0, \qquad y = 0, \qquad z = e$$
$$\xi = 0, \qquad v = 0, \qquad \zeta = e.$$

Nach bekannten Sätzen der analytischen Geometrie ist die Gleichung einer 749
Ebene, welche durch den Punkt (x, y, z) geht, von der Form

$$fx + gy + \frac{h}{e}(e - z) = 0.$$

Setzen wir $z = 0$, so kommt die Gleichung unmittelbar auf die Form 1g) und ist nach der dort angegebenen Methode die correspondirende Linie in der (ξ, v) Ebene, und danach die correspondirende Ebene zu finden.

Bilden wir die Gleichungen

$$\left.\begin{array}{ll} A = ax + by & \mathfrak{A} = \alpha\xi + \beta v \\ B = cx + dy & \mathfrak{B} = \gamma\xi + \delta v \\ C = z - e & \mathfrak{C} = \zeta - e \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3),$$

so sind alle Ebenen, deren Gleichungen von der Form sind

$$\left.\begin{array}{l} lA + mB + nC = 0 \\ l\mathfrak{A} + m\mathfrak{B} + n\mathfrak{C} = 0 \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3a)$$

correspondirende Ebenen. Denn die Gleichungen sind von der Form derjenigen, welche durch die Mittelpunkte der Visirlinien gehen, und wenn wir $z = 0$ und $\zeta = 0$ setzen, behalten wir nach dem in 1d) und 1e) ausgesprochenen Satze die Gleichungen correspondirender Linien übrig, die in den xy und ξv Ebenen liegen. Folglich sind die Ebenen correspondirend.

Correspondirende Visirlinien sind zu geben als Schnittlinien je zweier Paare correspondirender Ebenen.

Gleichungen für die einfach gesehenen Geraden. Bisher haben wir die Lage der correspondirenden Linien und Ebenen nur in Bezug auf die Lage des zugehörigen Auges betrachtet, aber die Lage der Augen gegen einander und zu den Objecten des Raumes noch gar nicht berücksichtigt. Um das letztere zu thun, denken wir uns die Lage aller Punkte und der Augen selbst auf ein gemeinsames rechtwinkeliges Coordinatensystem der $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{z}$ bezogen. Wenn wir die x, y, z und ξ, v, ζ durch diese neuen Coordinaten ausdrücken, werden ihre Werthe bekanntlich lineare Funktionen der $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{z}$, und ebenso auch die linear aus x, y, z, beziehentlich ξ, v, ζ zusammengesetzten Gröfsen A, B, C und $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$.

Durch jeden Raumpunkt geht im Allgemeinen eine einfach gesehene gerade Linie. Der Beweis hierfür ist zu führen, wie folgt. Die

Gleichungen correspondirender Ebenen sind nach 3a)

$$\left.\begin{aligned} lA + mB + nC &= 0 \\ l\mathfrak{A} + m\mathfrak{B} + n\mathfrak{C} &= 0 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3b$$

Beide zusammengenommen geben die Lage ihrer Schnittlinie, welche, wi schon bemerkt wurde, einfach gesehen und also eine gerade Horopterlinie wird.

Wenn man in 3a) für $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{z}$ die Coordinaten irgend eines beliebigen Punkt $\mathfrak{x}_0$, $\mathfrak{y}_0$, $\mathfrak{z}_0$ setzt, werden sich doch immer die Coefficienten l, m, n so bestimme lassen, dafs die beiden Gleichungen 3b) erfüllt sind. Da man durch Multiplicatio mit einem gemeinsamen Factor einem der Coefficienten einen beliebigen Werth gebe kann, so sind nur zwei zu bestimmen, wozu die beiden Gleichungen im Allgemein ausreichen. Man erhält

750

$$\frac{l}{n} = \frac{B_0\mathfrak{C}_0 - \mathfrak{B}_0 C_0}{A_0\mathfrak{B}_0 - \mathfrak{A}_0 B_0}$$

$$\frac{m}{n} = \frac{A_0\mathfrak{C}_0 - \mathfrak{A}_0 C_0}{\mathfrak{A}_0 B_0 - A_0\mathfrak{B}_0}$$

Dadurch sind Werthe der Verhältnisse von l, m, n bestimmt, welche de Gleichungen 3a) genügen, und zwar im Allgemeinen eindeutig, vorausgesetzt, da die obigen Brüche nicht von der Form $\frac{0}{0}$ werden, was geschieht, wenn

$$\left.\begin{aligned} A_0\mathfrak{C}_0 &= \mathfrak{A}_0 C_0 \\ B_0\mathfrak{C}_0 &= \mathfrak{B}_0 C_0 \end{aligned}\right.$$

woraus dann im Allgemeinen folgt, dafs auch 3c

$$A_0\mathfrak{B}_0 = \mathfrak{A}_0 B_0$$

Wir werden später sehen, dafs diese drei letzteren Gleichungen den Punkt der Horoptercurve entsprechen. Mit Ausnahme also dieser Punkte läfst sich dur jeden Punkt des Raumes eine und nur eine gerade und einfach gesehene Lin legen, durch die mittels der Gleichungen 3c) gegebenen Punkte aber belieb viele.

Flächen zweiten Grades, auf denen die einfach gesehenen Linie liegen. Wenn man zwei Paare correspondirender Flächen hat

$$\left.\begin{aligned} l_0 A + m_0 B + n_0 C = 0, &\qquad l_0\mathfrak{A} + m_0\mathfrak{B} + n_0\mathfrak{C} = 0 \\ l_1 A + m_1 B + n_1 C = 0, &\qquad l_1\mathfrak{A} + m_1\mathfrak{B} + n_1\mathfrak{C} = 0 \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad 4$$

so schneiden sich die beiden rechts stehenden Flächen in einer Visirlinie, die lin stehenden in der correspondirenden Visirlinie. Multiplicirt man nun die unter Gleichungen mit einem neuen Factor k und addirt sie zu den oberen, so erhält m

$$\left.\begin{aligned} (l_0 + kl_1)A + (m_0 + km_1)B + (n_0 + kn_1)C &= 0 \\ (l_0 + kl_1)\mathfrak{A} + (m_0 + km_1)\mathfrak{B} + (n_0 + kn_1)\mathfrak{C} &= 0 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad 4a$$

Es sind dies die Gleichungen eines dritten Paars correspondirender Fläche welche aber ebenfalls durch dasselbe Paar Visirlinien gehen, wie die Flächen d

Gleichungen 4). Da nämlich für die Punkte der einen Visirlinie die beiden Gleichungen links unter 4) erfüllt sind, ist auch nothwendig die obere Gleichung 4a) für dieselben Punkte erfüllt, das heifst die Punkte jener Visirlinien liegen auch in der der letzteren Gleichung entsprechenden Fläche. Dasselbe gilt für die rechtsstehenden Gleichungen unter 4) und die untere unter 4a).

Die beiden Gleichungen 4a) geben zusammen eine einfach gesehene gerade Linie, da sie einzeln genommen correspondirenden Ebenen entsprechen. Lassen wir nun den Factor k sich continuirlich verändern, so wird im Allgemeinen auch die einfach gesehene gerade Linie ihre Lage verändern, und zwar in continuirlicher Weise. Alle diese geraden Linien, welche auf solche Weise durch continuirliche Änderung von k sich ergeben, werden sich zu einer Fläche zusammenschliefsen, deren Gleichung sich ergiebt, wenn wir aus den beiden Gleichungen 4a) den Factor k eliminiren. So erhalten wir als Gleichung für die Fläche, in der die genannte Reihe einfach gesehener gerader Linien liegt:

$$[l_0 A + m_0 B + n_0 C]\,[l_1 \mathfrak{A} + m_1 \mathfrak{B} + n_1 \mathfrak{C}]$$
$$- [l_1 A + m_1 B + n_1 C]\,[l_0 \mathfrak{A} + m_0 \mathfrak{B} + n_0 \mathfrak{C}] = 0$$

oder wenn wir die Multiplication ausführen: 751

$$(l_0 m_1 - l_1 m_0)\,[A \mathfrak{B} - \mathfrak{A} B] + (l_1 n_0 - l_0 n_1)\,[\mathfrak{A} C + A \mathfrak{C}]$$
$$+ (m_0 n_1 - m_1 n_0)\,[B \mathfrak{C} - \mathfrak{B} C] = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 4\text{b}).$$

Da die Gröfsen A, B, C, so wie $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ lineare Funktionen von $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{z}$ sind, so ist die Gleichung 4b) die einer Fläche zweiten Grades, und zwar einer solchen, in deren Oberfläche unendlich lange gerade Linien gezogen werden können. Unter den Flächen zweiten Grades lassen dies zu die Hyperboloide mit einer Mantelfläche, welche im Grenzfall in Kegel, Cylinder oder auch zwei sich schneidende Ebenen übergehen können.

Vergleichen wir nun die Gleichung 4b) mit den Gleichungen 3c), welche die Punkte geben, durch welche unendlich viele einfach gesehene gerade Linien gezogen werden können:

$$\left.\begin{array}{l} A\mathfrak{C} - \mathfrak{A} C = 0 \\ \mathfrak{B} C - B\mathfrak{C} = 0 \\ \mathfrak{A} B - A\mathfrak{B} = 0 \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots 4\text{c}),$$

so sehen wir, dafs auch dies Gleichungen von Hyperboloiden sind, und zwar derselben Art, wie die Fläche 4b), welche letztere bei bestimmten Werthen der Coefficienten l, m, n in je eine der Gleichungen 4c) übergehen kann.

Nehmen wir zwei von den letzteren, zum Beispiel

$$\left.\begin{array}{l} A\mathfrak{C} - \mathfrak{A} C = 0 \\ B\mathfrak{C} - \mathfrak{B} C = 0 \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots 4\text{d}),$$

so werden dieselben sich in einer Curve schneiden müssen, da sie jedenfalls zwei Punkte gemein haben, nämlich die Mittelpunkte der Visirlinien, für deren einen

$$A = B = C = 0,$$

während für den andern

$$\mathfrak{A} = \mathfrak{B} = \mathfrak{C} = 0$$

und jede dieser beiden Annahmen den beiden Flächengleichungen genügt. Aufserden ist leicht zu sehen, dafs auch die Annahme

$$C = \mathfrak{C} = 0$$

den beiden Flächengleichungen genügt, das heifst, die gerade Schnittlinie der beide Flächen $C = 0$ und $\mathfrak{C} = 0$ mufs beiden Hyperboloiden angehören, also mit z ihrer gesammten Schnittlinie gehören. Diese Schnittlinie setzt sich also zusamme aus einer geraden Linie $C = 0$, $\mathfrak{C} = 0$, und einem anderen Stück, welches in Allgemeinen eine Curve doppelter Krümmung sein wird.

Aus den beiden Gleichungen 4d) können wir $\mathfrak{C}$ eliminiren, indem wir di obere mit B, die untere mit A multipliciren und addiren. Wir erhalten

$$(A\mathfrak{B} - \mathfrak{A}B)\, C = 0.$$

Wenn also C nicht gleich Null ist, so folgt aus dieser Elimination die dritt der Gleichungen 4c)

$$\mathfrak{A}B - A\mathfrak{B} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 4e)$$

Sollte C gleich Null sein, so würde nach 4d) entweder auch $\mathfrak{C} = 0$ sein müssen oder gleichzeitig $A = B = 0$. Nur im letzteren Falle würde die Gleichung 4e
752 giltig sein; die Bedingungen $A = B = C = 0$ gehören dem Mittelpunkte der Visir linien des einen Auges an.

Daraus folgt, dafs für die Punkte der Schnittlinie der Flächen 4d), welch nicht der geraden Linie $C = \mathfrak{C} = 0$ angehören, auch die Gleichung 4e) erfüllt ist dafs also die drei Flächen 4e) sich in ein und derselben Curve doppelter Krümmun schneiden. Je zwei der Flächen haben immer noch eine gerade Schnittlinie, di aber im Allgemeinen nicht der dritten Fläche angehört.

Wenn man nun die Gleichungen dreier Flächen hat

$$X = 0 \qquad Y = 0 \qquad Z = 0,$$

die eine gemeinsame Schnittlinie besitzen, so wird auch jede Fläche, deren Gleichun von der Form ist

$$lX + mY + nZ = 0,$$

durch dieselbe Schnittlinie gehen. Da nämlich für die Punkte der Schnittlinie di ersteren drei Gleichungen erfüllt sind, ist für dieselben auch nothwendig di letztere erfüllt.

Nun ist die Gleichung 4b) in der angegebenen Weise aus den drei Gleichunge 4c) zusammengesetzt. Folglich gehen alle die unendlich vielen Hyperboloide, au denen die einfach gesehenen Linien liegen, durch die gemeinsame Schnittcurve de Gleichungen 4c).

Diese Curve ist eine sogenannte Curve dritten Grades, dafs heifst, sie kan von einer und derselben Ebene in drei Punkten geschnitten werden. Da nämlic die Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades wie zum Beispiel der beiden Fläche 4d) im Allgemeinen vom vierten Grade ist und in vier oder zwei Punkten vo einer Ebene geschnitten werden kann, einer dieser Schnittpunkte aber nothwendi der geraden Linie angehört (Parallelismus wird als Schneidung im Unendlichen betrachtet), so bleiben nur drei Schnittpunkte oder einer für die Curve. So schneidet zum Beispiel die Visirebene die Horoptercurve im Fixationspunkte und in den

Mittelpunkten beider Augen. Denkt man sich die schneidende Ebene unendlich weit entfernt, so wird sie auch in ein oder drei Punkten schneiden müssen, was dann ein oder drei Paare nach entgegengesetzten Richtungen in das Unendliche auslaufender Zweige der Curve giebt.

Die Curve dritten Grades ist Horoptercurve, das heifst, in ihr schneiden sich correspondirende Visirlinien. Die drei Gleichungen 4c) können wir nämlich auch schreiben

$$\frac{A}{\mathfrak{A}} = \frac{B}{\mathfrak{B}} = \frac{C}{\mathfrak{C}} \qquad \text{4f)}$$

Nun sind die Gleichungen 4) die Gleichungen zweier correspondirender Visirlinien. Nehmen wir die der einen

$$\left.\begin{aligned} l_0 A + m_0 B + n_0 C = 0 \\ l_1 A + m_1 B + n_1 C = 0 \end{aligned}\right\} \qquad \text{4g)}$$

und setzen voraus, dafs sie durch einen Punkt der Curve dritten Grades geht, in welchem dann die Gleichungen 4f) erfüllt sind, so folgt: wenn wir die beiden Gleichungen 4g) mit $\frac{\mathfrak{A}}{A}$ multipliciren mit Berücksichtigung von 4f), dafs für denselben Punkt auch sei

$$l_0 \mathfrak{A} + m_0 \mathfrak{B} + n_0 \mathfrak{C} = 0$$

$$l_1 \mathfrak{A} + m_1 \mathfrak{B} + n_1 \mathfrak{C} = 0,$$

dafs also derselbe Punkt auch der correspondirenden Visirlinie angehört. Es 753
schneiden sich also correspondirende Visirlinien in je einem Punkte der gemeinsamen Schnittlinie der Flächen 4c). Diese ist die Horoptercurve. Dafs nicht die Stücke dieser Curve auch gleichzeitig Horopter sind, ist schon oben erwähnt worden.

Kegel zweiten Grades, welche durch die Horoptercurve gehen. Wenn die beiden correspondirenden Visirlinien der Gleichungen 4) sich in einem Punkte schneiden, der alsdann der Horoptercurve angehört, so gehen auch alle die durch die beiden Visirlinien gelegten Ebenen der Gleichungen 4a) durch denselben Punkt, folglich auch alle Schnittlinien dieser Ebenen, aus denen sich die Oberfläche zweiten Grades zusammensetzt. Eine Fläche zweiten Grades, in der ein System unendlich langer gerader Linien liegt, die alle durch einen und denselben Punkt gehen, ist ein Kegel zweiten Grades.

Jeder Punkt der Horoptercurve ist also die Spitze eines Kegels zweiten Grades, in dessen Mantel die ganze Horoptercurve liegt. Dieser Kegel kann in besonderen Fällen in einen Cylinder (Kegel mit unendlich entfernter Spitze) oder in ein Paar sich schneidender Ebenen (Kegel, dessen elliptische Basis eine unendlich lange Axe hat) übergehen.

Jede gerade Linie, welche zwei Punkte der Horoptercurve schneidet, gehört zu solchen Kegeln an und wird also einfach gesehen.

Wenn sich einer der Kegel in ein Ebenenpaar verwandeln kann, so besteht die Horoptercurve aus einem ebenen Kegelschnitt und einer geraden Linie, die den Kegelschnitt in einem Punkte schneidet. Denn man denke sich zur Construction der Horoptercurve aufser dem einen Kegel, der durch die beiden Ebenen dargestellt

wird, noch einen zweiten, dessen Spitze in einer der beiden Ebenen liegen muſs so schneiden diese sich in zwei geraden Linien und einem Kegelschnitt. Die ein Gerade aber gehört nicht zur Horoptercurve.

Einzelne Fälle. Um nun die wirkliche Berechnung der Horoptercurve i einzelnen Fällen ausführen zu können, müssen wir die Ausdrücke A, B, C un $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ wirklich bilden als Functionen von $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{z}$. Wir nehmen an, daſs de Fixationspunkt der Nullpunkt dieses letztern Systems sei, die Visirebene die Eben der $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, die $\mathfrak{z}$ positiv nach oben steigend. Die Halbirungslinie des Convergenz winkels der beiden Gesichtslinien sei die Axe der $\mathfrak{x}$, der Convergenzwinkel selbs sei 2γ, die Entfernung des Mittelpunkts der Visirlinien im rechten Auge vor Fixationspunkte sei a, die des linken a_1. Dann sind die Coordinaten für den Mittel punkt der Visirlinien

im rechten Auge: $\mathfrak{x} = a\cos\gamma$, $\mathfrak{y} = a\sin\gamma$, $\mathfrak{z} = 0$

im linken Ange: $\mathfrak{x} = a_1\cos\gamma$, $\mathfrak{y} = -a_1\sin\gamma$, $\mathfrak{z} = 0$.

Nehmen wir nun ein zweites Coordinatensystem zu Hilfe: $\mathfrak{x}_1$, $\mathfrak{y}_1$, $\mathfrak{z}_1$, welche gegen das erste um die $\mathfrak{z}$ Axe und den Winkel γ gedreht ist, so daſs seine $\mathfrak{x}_1$ Ax mit der Gesichtslinie des rechten Auges zusammenfällt, so haben wir

$$\mathfrak{x}_1 = \mathfrak{x}\cos\gamma + \mathfrak{y}\sin\gamma$$

$$\mathfrak{y}_1 = -\mathfrak{x}\sin\gamma + \mathfrak{y}\cos\gamma$$

$$\mathfrak{z}_1 = \mathfrak{z},$$

was den beiden Bedingungen genügt, daſs

$$\mathfrak{x}_1^2 + \mathfrak{y}_1^2 = \mathfrak{x}^2 + \mathfrak{y}^2$$

und daſs für $\mathfrak{x}_1 = a$, $\mathfrak{y}_1 = 0$, die oben angegebenen Werthe der Coordinaten fü den Mittelpunkt des rechten Auges sich finden.

754 In dem System ($\mathfrak{x}_1$ $\mathfrak{y}_1$ $\mathfrak{z}_1$) fällt die Axe der $\mathfrak{x}_1$ zusammen mit der Axe der in dem oben in den Gleichungen 1) bis 1 i) gebrauchten System der x, y, so daſs

$$\mathfrak{x}_1 = a - z + e.$$

Das System der $x\,y\,z$ ist gedreht gegen das erstere um den Winkel ϑ, de der Netzhauthorizont mit der Visirebene macht; also ist

$$x = \mathfrak{y}_1\cos\vartheta - \mathfrak{z}_1\sin\vartheta$$

$$y = \mathfrak{y}_1\sin\vartheta + \mathfrak{z}_1\cos\vartheta,$$

wobei der Winkel ϑ positiv gerechnet ist für eine Drehung des oberen Endes de senkrechten Meridians nach rechts herum, also beim Blick nach links oben un rechts unten. Demgemäſs ist

$$\left.\begin{aligned} x &= -\mathfrak{x}\sin\gamma\cos\vartheta + \mathfrak{y}\cos\gamma\cos\vartheta - \mathfrak{z}\sin\vartheta \\ y &= -\mathfrak{x}\sin\gamma\sin\vartheta + \mathfrak{y}\cos\gamma\sin\vartheta + \mathfrak{z}\cos\vartheta \\ z &= -\mathfrak{x}\cos\gamma - \mathfrak{y}\sin\gamma + a + e \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ 5$$

Daraus bilden sich nun nach Gleichungen 3) mit Berücksichtigung von 1 h) ıd 1 i), sowie der dort vorausgeschickten Festsetzungen, die Ausdrücke:

$$\left.\begin{aligned} A &= y = -\mathfrak{x}\sin\gamma\sin\vartheta + \mathfrak{y}\cos\gamma\sin\vartheta + \mathfrak{z}\cos\vartheta \\ B &= x\cos\varepsilon - y\sin\varepsilon \\ &= -\mathfrak{x}\sin\gamma\cos(\vartheta+\varepsilon) + \mathfrak{y}\cos\gamma\cos(\vartheta+\varepsilon) - \mathfrak{z}\sin(\vartheta+\varepsilon) \\ C &= z - e = a - \mathfrak{x}\cos\gamma - \mathfrak{y}\sin\gamma \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots 5a).$$

In ähnlicher Weise finden sich die Ausdrücke $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, wenn ϑ_1 der Rad-ehungswinkel für das linke Auge ist:

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{A} &= +\mathfrak{x}\sin\gamma\sin\vartheta_1 + \mathfrak{y}\cos\gamma\sin\vartheta_1 + \mathfrak{z}\cos\vartheta_1 \\ \mathfrak{B} &= \mathfrak{x}\sin\gamma\cos(\vartheta_1-\varepsilon) + \mathfrak{y}\cos\gamma\cos(\vartheta_1-\varepsilon) - \mathfrak{z}\sin(\vartheta_1-\varepsilon) \\ \mathfrak{C} &= a_1 - \mathfrak{x}\cos\gamma + \mathfrak{y}\sin\gamma \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots 5b).$$

Vereinfachte Formen der Horoptercurve. Solche finden sich nament-n in den Fällen, wo ein Paar correspondirender Ebenen ganz in einander fällt. nn schneidet sich nämlich nothwendig jede in dieser Ebene liegende Visirlinie s einen Auges mit der correspondirenden des andern und giebt einen Punkt der roptercurve, der in der Ebene liegt. Sollten die Visirlinien parallel laufen, so en sie unendlich entfernte Punkte dieser Curve. Dann ist also ein Theil der roptercurve eine ebene Curve oder eine gerade Linie. Ist das erstere der Fall, l machen wir irgend einen Punkt dieser Curve zum Mittelpunkt eines durch die roptercurve gelegten Kegels, so wird ein Theil dieser Kegelfläche eine Ebene, Rest der Kegelfläche kann dann nur eine zweite Ebene sein. Denn nur der enzfall, wo der Kegel in zwei sich schneidende Ebenen übergeht, erlaubt, dafs Theil der Kegeloberfläche eben sei. Wenn diese anderen Ebenen, die nicht ch die dem Horopter angehörige ebene Curve gehen, eine gemeinsame Schnitt-e haben, so kann diese nur eine gerade Linie sein, die durch einen Punkt der ähnten ebenen Curve gehen mufs. Zugleich folgt, dafs die Curve eine Curve iten Grades sein mufs, denn nur unter dieser Bedingung können die Kegel, che ihre Spitze in der geraden Linie haben, Kegel zweiten Grades sein.

Ist zweitens die Schnittcurve der correspondirenden Visirlinien eine gerade 755
ie, so folgt, dafs jeder Kegel, der einen aufserhalb dieser geraden Linie enden Theil der Horoptercurve zur Spitze hat, einen ebenen Theil hat, folglich zwei Ebenen besteht, und dafs daher der Rest der Horoptercurve eine ebene ve sein müsse.

Auch ist leicht einzusehen, dafs, wenn die Horoptercurve aus einer geraden ie und einem Kegelschnitt besteht, die Augenmittelpunkte in dem letzteren liegen sen und die Ebene desselben ein correspondirendes und zusammenfallendes nenpaar beider Augen darstellt. Denn es kann nicht ein Auge in der Curve, anderes in der geraden Linie liegen; sonst würde ein Bündel von Visirlinien des eren, welches nach den Punkten der Curve geht und daher in einer Ebene liegt, zweiten in einer gekrümmten Kegeloberfläche liegen, was nicht angeht. Und en beide Augen in der geraden Linie liegen, so müfste diese ein Paar corre-ndirender Visirlinien vertreten, und giebt es dann aufserhalb dieser geraden e noch irgend einen Punkt der Horoptercurve, z. B. den Fixationspunkt, so die durch ihn und die Augen gelegte Ebene Vertreterin eines correspondirenden nenpaares und müfste eine Horoptercurve enthalten.

Die Bedingung für die Zusammensetzung der Horoptercurve aus einem ebene Kegelschnitt und einer diesen schneidenden geraden Linie ist also, dafs es Werth von l, m, n giebt, für welche die Gleichungen

$$lA + mB + nC = 0$$

$$l\mathfrak{A} + m\mathfrak{B} + n\mathfrak{C} = 0$$

identisch werden. Bringt man mittels der Gleichungen 5a) und 5b) diese Gle chungen auf die Form

$$f\mathfrak{x} + f_1\mathfrak{y} + f_2\mathfrak{z} + f_3 = 0$$

$$\varphi\mathfrak{x} + \varphi_1\mathfrak{y} + \varphi_2\mathfrak{z} + \varphi_3 = 0,$$

so mufs sein

$$\frac{f}{\varphi} = \frac{f_1}{\varphi_1} = \frac{f_2}{\varphi_2} = \frac{f_3}{\varphi_3}.$$

Der letzte Bruch ist unabhängig von l, m, n; in den drei ersten sind Zähle und Nenner lineare Functionen von l, m, n. Indem man jeden der drei erste Brüche dem letzten gleich setzt, erhält man drei lineare Gleichungen für l, m, ohne constantes Glied, und daraus folgt, dafs die Determinante der Coefficiente von l, m, n gleich Null sein mufs. Dies giebt eine Gleichung zwischen den Gröfse a, a_1, ϑ, ϑ_1 und γ, welche erfüllt sein mufs, wenn die Horoptercurve die obe angegebene Gestalt erhalten soll. Es ist nicht nöthig, diese Rechnung hier durch zuführen, da uns nur diejenigen Stellungen der Augen näher interessiren, die nac dem LISTING'schen Gesetze möglich sind.

Geometrisch läfst sich die Bedingung hierfür folgendermaafsen ausdrücken. Be zeichnen wir die Linie, welche die beiden Mittelpunkte der Visirlinien verbindet mit F. Diese Linie kann sowohl als eine der Visirlinien des rechten Auges, wi als eine des linken betrachtet werden. Im ersteren Sinne mufs es zu ihr eine cor respondirende Visirlinie H im linken Auge geben, im zweiten Sinne eine corre spondirende G im rechten Auge. Wenn G und H sich schneiden, so liegen sie mi F in einer Ebene, welche dann für beide Augen correspondirend liegt, da zwe Paar correspondirender Visirlinien in ihr liegen, F und G für das rechte, F und H für das linke Auge. Bei jeder Stellung der Augen wird es also möglich sein, durc Drehung des einen um seine Gesichtslinie eine Stellung herbeizuführen, welche de Horoptercurve die gewünschte einfache Gestalt giebt.

756 Für Augen, welche dem Gesetze von LISTING folgen, symmetrisch gebildet sind und deren Netzhauthorizonte bei parallelen Blicklinien in der Visirebene liegen, ist es klar, dafs die genannte Bedingung erfüllt ist, erstens bei den symmetrischen Stellungen der Augen, wo die Linien G und H auch symmetrisch liegen und sich daher in der Medianebene schneiden müssen, zweitens wenn die Visirebene sich in ihrer Primärstellung befindet, weil dann die einander correspondirenden Netzhaut-horizonte in ihr liegen. Es sind dies übrigens theoretisch nicht die einzigen Fälle der Art, sondern es würden für Augen, die dem LISTING'schen Gesetze genau folgen, in nach unten und seitlich gerichteten Stellungen noch gewisse sehr grofse Entfernungen des Fixationspunktes existiren, in denen die Visirebene für beide Augen correspondirend wäre und daher eine ebene Ellipse als Horoptercurve ent-halten müfste. Von irgend welcher praktischer Wichtigkeit sind aber diese Fälle

nicht, da bei sehr grofsen Entfernungen des Fixationspunktes überhaupt die Beobachtungen über die Lage der einfach gesehenen Punkte zu unbestimmt werden. In Augen, wo die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane fehlt, rücken die erwähnten Lagen des Fixationspunktes in unendliche Entfernung hinaus.

Mit Auslassung kleiner Gröfsen ist in solchen Fällen die Entfernung ϱ des Fixationspunktes von dem Mittelpunkte eines mitten zwischen den Augen gelegenen ideellen Auges, wenn α der Erhebungswinkel, γ der Seitenwendungswinkel dieses Auges wäre, a der halbe Abstand der wirklichen Augen, ε die halbe Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane von einander

$$\varrho = \pm \frac{a \cos \gamma}{\sin \varepsilon \sin \beta \cos \beta}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}.$$

In der Nähe der Medianebene, wo $\gamma = 0$ und in der Nähe der Primärlage der Visirebene, wo $\alpha = 0$, wird $\beta = 0$ und ϱ unendlich lang. Positive Werthe hat nur für ein negatives α, also unterhalb der Visirebene.

Wir wollen jetzt die beiden erst erwähnten Fälle behandeln, in denen der Horopter aus einer geraden Linie und einer ebenen Curve besteht, Fälle, welche eine gewisse Wichtigkeit für die Beobachtungen haben.

A. Der Fixationspunkt liegt in der Medianebene in unendlicher Entfernung. Dann wird in den Gleichungen 5a) und 5b)

$$a = a_1 \qquad \vartheta = -\vartheta_1$$

$$\left.\begin{aligned}
&= -\mathfrak{x} \sin \gamma \sin \vartheta + \mathfrak{y} \cos \gamma \sin \vartheta + \mathfrak{z} \cos \vartheta \\
&= -\mathfrak{x} \sin \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) + \mathfrak{y} \cos \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) - \mathfrak{z} \sin (\vartheta + \varepsilon) \\
&= a - \mathfrak{x} \cos \gamma - \mathfrak{y} \sin \gamma \\
&= -\mathfrak{x} \sin \gamma \sin \vartheta - \mathfrak{y} \cos \gamma \sin \vartheta + \mathfrak{z} \cos \vartheta \\
&= \mathfrak{x} \sin \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) + \mathfrak{y} \cos \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) + \mathfrak{z} \sin (\vartheta + \varepsilon) \\
&= a - \mathfrak{x} \cos \gamma + \mathfrak{y} \sin \gamma
\end{aligned}\right\} \quad \ldots 6).$$

Zusammenfallende correspondirende Ebenen finden sich, wenn wir setzen

$$A \sin \gamma + C \cos \gamma \sin \vartheta = 0$$

$$\mathfrak{A} \sin \gamma + \mathfrak{C} \cos \gamma \sin \vartheta = 0,$$

die beide Gleichungen geben identisch, vorausgesetzt, dafs nicht $\sin \gamma$ und $\sin \vartheta$ 757
gleichzeitig gleich Null sind:

$$\mathfrak{x} \sin \vartheta - \mathfrak{z} \sin \gamma \cos \vartheta - a \cos \gamma \sin \vartheta = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6a).$$

Dies ist also die Ebene des Kegelschnitts. Ferner wird für

$$\mathfrak{y} = 0 \text{ und } \mathfrak{x} \sin \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) = -\mathfrak{z} \sin (\vartheta + \varepsilon) \quad \ldots\ldots\ldots \quad 6b)$$

$$A = \mathfrak{A} = -\mathfrak{x} \sin \gamma \sin \vartheta + \mathfrak{z} \cos \vartheta$$

$$B = \mathfrak{B} = 0$$

$$C = \mathfrak{C} = a - \mathfrak{x} \cos \gamma.$$

Also sind die Punkte der durch die Gleichungen 6 b) gegebenen geraden Lini für beide Augen correspondirend, und jene Linie ist die gerade Horopterlinie.

Ihr parallel müssen die Kanten des Cylinders sein, auf dem die Horopterlini liegt, und diejenigen Ebenen, die sich in den Cylinderkanten schneiden. Bildet ma die Gleichung der correspondirenden Ebenen:

$$A \cos\gamma \sin(\vartheta + \varepsilon) - C \sin\gamma \cos\varepsilon = 0$$

$$\mathfrak{A} \cos\gamma \sin(\vartheta + \varepsilon) - \mathfrak{C} \sin\gamma \cos\varepsilon = 0,$$

so reduciren sich diese für $\mathfrak{y} = 0$ auf

$$\frac{a \operatorname{tang}\gamma \cos\varepsilon}{\cos\vartheta} - \mathfrak{x} \sin\gamma \cos(\vartheta + \varepsilon) - \mathfrak{z} \sin(\vartheta + \varepsilon) = 0.$$

Ihre Schnittlinie ist also, wie man aus der Vergleichung mit 6 b) sieht, de geraden Horopterlinie parallel und liegt wie diese in der Medianebene.

Andererseits schneiden sich in der geraden Horopterlinie gemäfs 6 b) die Ebene

$$B = \mathfrak{B} = 0$$

und die correspondirenden Ebenen

$$A \cos\gamma \sin(\vartheta + \varepsilon) + \varkappa B - C \sin\gamma \cos\varepsilon = 0$$

$$\mathfrak{A} \cos\gamma \sin(\vartheta + \varepsilon) + \varkappa \mathfrak{B} - \mathfrak{C} \sin\gamma \cos\varepsilon = 0$$

schneiden sich also ebenfalls in Linien, die der geraden Horopterlinie parallel sind Eliminirt man aus ihnen $\varkappa$, so erhält man

$$(A\mathfrak{B} - B\mathfrak{A}) \cos\gamma \sin(\vartheta + \varepsilon) - (\mathfrak{B} C - B\mathfrak{C}) \sin\gamma \cos\varepsilon = 0$$

als Gleichung des Cylinders. Diese Gleichung reducirt giebt:

$$\left.\begin{aligned} \frac{a^2 \sin^2\gamma \cos^2\varepsilon}{4 \cos^2\gamma \cos^2\vartheta} = \mathfrak{y}^2 \left[\sin^2\gamma \cos^2(\vartheta + \varepsilon) + \frac{\sin\vartheta \,.\, \sin 2(\vartheta + \varepsilon)}{2 \cos\vartheta}\right] \\ + \left[\mathfrak{x} \sin\gamma \cos(\vartheta + \varepsilon) + \mathfrak{z} \sin(\vartheta + \varepsilon) - \frac{a \sin\gamma \cos\varepsilon}{2 \cos\gamma \cos\vartheta}\right]^2 \end{aligned}\right\} \quad . \; 6c)$$

Es ist dies die Gleichung eines Cylinders, welcher die Ebenen $\mathfrak{z} = \text{Const}$ schneidet in Kegelschnitten, deren $\mathfrak{x}$ Axe stets reell ist, nämlich

$$X = \frac{a \cos\varepsilon}{2 \cos\gamma \cos\vartheta \cos(\vartheta + \varepsilon)}.$$

758 Die $\mathfrak{y}$ Axe dagegen ist dies nicht nothwendig, ihr Quadrat ist

$$Y^2 = \frac{a^2 \operatorname{tang}^2\gamma \cos^2\varepsilon}{4 \cos\vartheta \cos(\vartheta + \varepsilon) [\sin^2\gamma \cos(\vartheta + \varepsilon) \cos\vartheta + \sin\vartheta \sin(\vartheta + \varepsilon)}.$$

In diesem Ausdrucke werden $\cos\vartheta$ und $\cos(\vartheta + \varepsilon)$ für die ausführbaren Augenbewegungen immer positiv sein. Wenn aber $\operatorname{tang}\vartheta \operatorname{tang}(\vartheta + \varepsilon)$ negativ wird und sein absoluter Werth dabei gröfser als der von $\sin^2\gamma$, so wird Y imaginär und der Schnitt eine Hyperbel. Da ε der Regel nach einen kleinen positiven

Werth hat, so mufs ϑ zu diesem Zwecke noch kleinere negative Werthe haben, was nur bei abwärts gerichteten Gesichtslinien und weiter Entfernung des Fixationspunktes eintreten kann.

Die Y Axe dieses in der Visirebene liegenden Kegelschnitts fällt mit der ebenen Horoptercurve zusammen; um die mediane Axe der letzteren zu finden, setze man den Werth von $\mathfrak{z}$ aus der Gleichung 6a) in 6c) und zugleich $\mathfrak{y} = 0$, so kann man für das eine und andere Ende der betreffenden Axe die Coordinaten $\mathfrak{x}_0$, $\mathfrak{z}_0$ und $\mathfrak{x}_1$, $\mathfrak{z}_1$ finden. Die Gröfse der stets reellen Axe X_1 ist dann gegeben durch die Gleichung

$$X_1^2 = \frac{1}{4}(\mathfrak{x}_1 - \mathfrak{x}_0)^2 + \frac{1}{4}(\mathfrak{z}_1 - \mathfrak{z}_0)^2$$

$$= \frac{a^2 \sin^2\gamma \cos^2\varepsilon (\sin^2\gamma \cos^2\vartheta + \sin^2\vartheta)}{4 \cos^2\gamma \cos^2\vartheta [\sin^2\gamma \cos\vartheta \cos(\vartheta + \varepsilon) + \sin\vartheta \,.\, \sin(\vartheta + \varepsilon)]^2}$$

und es findet sich

$$\frac{X_1^2}{Y^2} = \frac{\sin^2\gamma + \operatorname{tang}^2\vartheta}{\sin^2\gamma + \operatorname{tang}\vartheta \,.\, \operatorname{tang}(\vartheta + \varepsilon)}.$$

Man kann zur Construction der Horoptercurve statt des bisher betrachteten Cylinders auch den Kegel des Verticalhoropters

$$B\mathfrak{C} - \mathfrak{B}C = 0$$

benutzen, oder

$$[\mathfrak{x} \sin\gamma \cos(\vartheta + \varepsilon) + \mathfrak{z} \sin(\vartheta + \varepsilon)] [a - \mathfrak{x} \cos\gamma] - \mathfrak{y}^2 \cos\gamma \sin\gamma \cos(\vartheta + \varepsilon) = 0$$

Für $\mathfrak{z} = 0$, das heifst in der Visirebene, ist die Schnittlinie ein Kreis, gegeben durch folgende Gleichung:

$$\left(\mathfrak{x} - \frac{a}{2 \cos\gamma}\right)^2 + \mathfrak{y}^2 = \frac{a^2}{4 \cos^2\gamma}.$$

Dieser Kreis geht durch die Punkte

$$\mathfrak{x} = 0 \qquad \mathfrak{y} = 0$$

$$\mathfrak{x} = \frac{a}{\cos\gamma}, \qquad \mathfrak{y} = 0$$

$$\mathfrak{x} = a \cos\gamma \qquad \mathfrak{y} = a \sin\gamma$$

$$\mathfrak{x} = a \cos\gamma \qquad \mathfrak{y} = - a \sin\gamma.$$

Die zwei ersten sind der Fixationspunkt und der ihm diametral gegenüber liegende Punkt, die beiden andern sind die Mittelpunkte beider Augen. Dadurch ist dieser Kreis gegeben.

Der Kegel schneidet die Medianebene, $\mathfrak{y} = 0$, in den beiden Linien 759

$$\mathfrak{x} \sin\gamma \cos(\vartheta + \varepsilon) = - \mathfrak{z} \sin(\vartheta + \varepsilon)$$

$$\mathfrak{x} \cos\gamma = a.$$

Ersteres ist die gerade Horopterlinie, die zweite ist senkrecht zur Visireben und schneidet diese in dem dem Fixationspunkt diametral gegenüberliegenden Punkt des Kreises. Die Ordinaten der Spitze des Kegels sind also

$$\mathfrak{x} = \frac{a}{\cos\gamma}$$

$$\mathfrak{z} = -a \tan\gamma \cdot \cot(\vartheta + \varepsilon).$$

Um die Lage der betreffenden Linien und Ebenen zu finden für Augen, welche dem Gesetze von LISTING folgen, setzen wir den Erhebungswinkel zwischen der Primärlage der Visirebene und ihrer actuellen Lage gleich β, und haben dann

$$\tan\vartheta = \frac{\sin\gamma \sin\beta}{\cos\gamma + \cos\beta} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{7}$$

Die Gleichung 6a) für die Ebene der Horoptercurve wird dann

$$(\mathfrak{x} - a\cos\gamma) - \mathfrak{z}\frac{\cos\gamma + \cos\beta}{\sin\beta} = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots \text{7a}$$

Die Gleichungen für die Primärrichtung der Gesichtslinien sind unter diesen Umständen:

$$\mathfrak{y} = \pm a \sin\gamma \text{ und } \mathfrak{z} = (\mathfrak{x} - a\cos\gamma)\tan\beta \ldots\ldots\ldots\ldots \text{7b}$$

Die Gleichungen für die actuellen Lagen der Blicklinien sind

$$\mathfrak{z} = 0 \text{ und } \mathfrak{y} = \pm \mathfrak{x} \tan\gamma \ldots\ldots\ldots\ldots \text{7c}$$

Der Fixationspunkt ist auf den letzteren Linien in der Entfernung a von den Mittelpunkten der Augen. Schneiden wir auch auf den Linien 7b) einen Punkt in der Entfernung a vom Mittelpunkte des betreffenden Auges ab, so sind dessen Coordinaten

$$\mathfrak{x} = a(\cos\gamma - \cos\beta), \qquad \mathfrak{y} = \pm a\sin\gamma, \qquad \mathfrak{z} = -a\sin\beta \ldots\ldots \text{7d}$$

Die Coordinaten eines Punktes dagegen, der in der Mitte zwischen diesem Punkte 7d) und dem Fixationspunkte liegt, für welchen letzteren

$$\mathfrak{x} = 0 \qquad \mathfrak{y} = 0 \qquad \mathfrak{z} = 0$$

sind halb so grofs als die Coordinaten 7d), also

$$\mathfrak{x} = \frac{1}{2}a(\cos\gamma - \cos\beta), \qquad \mathfrak{y} = \pm\frac{1}{2}a\sin\gamma, \qquad \mathfrak{z} = -\frac{1}{2}a\sin\beta \ldots \text{7e}$$

Diese letzteren Werthe erfüllen nun die Gleichung 7a) und es liegen also die beiden Punkte 7e) in der Ebene der Horoptercurve.

Die Ebene des Kegelschnitts, der der Horoptercurve angehört, wird also bei medianem Fixationspunkte gefunden, wenn man die Winkel, welche die primäre u

e actuelle Lage jeder Blicklinie bilden, halbirt und durch die Halbirungslinie eine
bene legt. Dieser Umstand ist bei der Construction auf Seite 865, *Fig. 249*, benutzt.

Wenn man ferner durch den Mittelpunkt jedes Auges eine Ebene legt, senk- *760*
cht zu der Verbindungslinie desselben Punktes mit dem zugehörigen Punkte der
leichungen 7 e), so ist deren Gleichung

$$-a\cos\gamma)(\cos\gamma+\cos\beta)-(a\sin\gamma\mp\mathfrak{y})\sin\gamma+\mathfrak{z}\sin\beta=0 \ldots\ldots\ldots\ldots 7\text{ f}).$$

Nimmt man hierzu noch die Gleichung einer Ebene, welche in der Entfernung
$a\sin\gamma$ cotang ε unterhalb der Primärlage der Visirebene 7 d) liegt und deren
eichung ist:

$$\mathfrak{z}\cdot\cos\beta+a\,\text{cotang}\,\varepsilon\cdot\sin\gamma=(\mathfrak{x}-a\cos\gamma)\sin\beta \ldots\ldots\ldots\ldots 7\text{ g}),$$

ergiebt sich, dafs die Ebenen, welche durch die gerade Horopterlinie gehen,
mlich

$$\mathfrak{x}\sin\gamma+\mathfrak{z}\,\text{tang}\,(\vartheta+\varepsilon)=0, \qquad \mathfrak{y}=0$$

l die beiden Ebenen 7 f) und 7 g) durch einen Punkt gehen, da die Werthe von
$\mathfrak{z}$ aus je drei dieser Gleichungen, mit Berücksichtigung von 7) in die vierte
etzt, diese identisch machen. Darauf beruht die Construction der geraden Horopter-
e oben in *Fig. 250.*

B. Fixationspunkt in der Mittelebene in unendlicher Entfernung.
e besondere Untersuchung verdient noch der Fall, wenn $\sin\gamma$ und $\sin\vartheta$ gleich-
ig gleich Null sind, ein Fall, den wir oben bei der Gleichung 6 a) von der
ersuchung ausschliefsen mufsten. Es sind alsdann die Gesichtslinien einander
allel in die Ferne gerichtet. Die Entfernung a des Fixationspunktes und die
rdinate $\mathfrak{x}$ wird unendlich grofs, aber die Gröfse $a\sin\gamma$, welche die halbe Ent-
nung der Augen ist, bleibt constant, wir wollen sie mit b bezeichnen, und $\mathfrak{x}-a$
$\mathfrak{x}$. Dann wird

$$A=\mathfrak{z} \qquad \mathfrak{A}=\mathfrak{z}$$

$$B=-b\cos\varepsilon+\mathfrak{y}\cos\varepsilon-\mathfrak{z}\sin\varepsilon \qquad \mathfrak{B}=b\cos\varepsilon+\mathfrak{y}\cos\varepsilon+\mathfrak{z}\sin\varepsilon$$

$$C=-\mathfrak{x} \qquad \mathfrak{C}=-\mathfrak{x}.$$

Dann sind also die Bedingungen der Correspondenz, dafs

$$A=\mathfrak{A}, \qquad B=\mathfrak{B}, \qquad C=\mathfrak{C}$$

ständig erfüllt für alle Punkte, für welche

$$b\cos\varepsilon+\mathfrak{z}\sin\varepsilon=0.$$

Dies sind die Punkte einer Ebene, die in der Entfernung $-b$ cotang ε unter-
der Visirebene liegt. Diese bildet also in diesen Fällen den Horopter.

C. Der Fixationspunkt liegt in der Primärlage der Visirebene.
h dem LISTING'schen Gesetze wird

$$\vartheta=\vartheta_1=0$$

also nach 5 a) und 5 b)

$$\left.\begin{aligned} A &= \mathfrak{z} \\ B &= -\mathfrak{x}\sin\gamma\cos\varepsilon + \mathfrak{y}\cos\gamma\cos\varepsilon - \mathfrak{z}\sin\varepsilon \\ C &= a - \mathfrak{x}\cos\gamma - \mathfrak{y}\sin\gamma \\ \mathfrak{A} &= \mathfrak{z} \\ \mathfrak{B} &= \mathfrak{x}\sin\gamma\cos\varepsilon + \mathfrak{y}\cos\gamma\cos\varepsilon + \mathfrak{z}\sin\varepsilon \\ \mathfrak{C} &= a_1 - \mathfrak{x}\cos\gamma + \mathfrak{y}\sin\gamma \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots$$

761 Der Kegel

$$A\mathfrak{C} - \mathfrak{A}C = 0$$

wird

$$\mathfrak{z}\,[a_1 - a + 2\,\mathfrak{y}\sin\gamma] = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 8a$$

und zerfällt also in die beiden Ebenen

$$\mathfrak{z} = 0 \text{ und } \mathfrak{y} = \frac{a - a_1}{2\sin\gamma} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 8b$$

Die Fläche

$$A\mathfrak{B} - \mathfrak{A}B = 0$$

wird

$$2\mathfrak{z}\,[\mathfrak{x}\sin\gamma\cos\varepsilon + \mathfrak{z}\sin\varepsilon] = 0$$

und zerfällt also in die beiden Ebenen

$$\mathfrak{z} = 0 \text{ und } \mathfrak{x}\sin\gamma + \mathfrak{z}\,\mathrm{tang}\,\varepsilon = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 8c$$

Die Fläche endlich

$$B\mathfrak{C} - \mathfrak{B}C = 0$$

wird

$$-(\mathfrak{x}\sin\gamma\cos\varepsilon + \mathfrak{z}\sin\varepsilon)(a_1 + a - 2\mathfrak{x}\cos\gamma) + 2\mathfrak{y}^2\cos\gamma\sin\gamma\cos\varepsilon$$
$$+ (a_1 - a)\,\mathfrak{y}\cos\gamma\cos\varepsilon = 0,$$

was die Gleichung eines Hyperboloids ist. Die Schnittlinie desselben mit der Eben $\mathfrak{z} = 0$ ist

$$\left(\mathfrak{x} - \frac{a + a_1}{4\cos\gamma}\right)^2 + \left(\mathfrak{y} + \frac{a_1 - a}{4\sin\gamma}\right)^2 = \frac{1}{4}\cdot\frac{a^2 + a_1^2 - 2aa_1\cos 2\gamma}{(\sin 2\gamma)^2}$$

ein Kreis, welcher durch die Punkte

$$\begin{aligned} \mathfrak{x} &= 0 & \mathfrak{y} &= 0 \\ \mathfrak{x} &= a\cos\gamma & \mathfrak{y} &= a\sin\gamma \\ \mathfrak{x} &= a_1\cos\gamma & \mathfrak{y} &= -a_1\sin\gamma \end{aligned}$$

hindurchgeht, der MÜLLER'sche Horopterkreis.

Die gerade Linie des Horopters ist demgemäfs die durch die beiden unter b) und 8 c) aufgeführten Gleichungen gegebene Linie

$$\mathfrak{y} = \frac{a - a_1}{2 \sin \gamma} \text{ und } \mathfrak{x} \sin \gamma + \mathfrak{z} \operatorname{tang} \varepsilon = 0.$$

Ihr Schnittpunkt mit der Visirebene liegt auch im Horopterkreise, sie läuft der edianebene $\mathfrak{y} = 0$ parallel. Die Entfernung des Schnittpunktes von den beiden ugenmittelpunkten ist die gleiche, nämlich

$$\frac{\sqrt{a^2 - 2aa_1 \cos 2\gamma + a_1^2}}{2 \sin \gamma} = \frac{b}{\sin \gamma},$$

nn wir die halbe Distanz der Augen von einander mit b bezeichnen. Macht man

$$\mathfrak{x} = \frac{b}{\sin \gamma},$$

wird

$$\mathfrak{z} = - \frac{b}{\operatorname{tang} \varepsilon}.$$

Diese letztere Gröfse ist aber die Entfernung der Horopterfläche unter der 762
irebene, wenn beide Gesichtslinien der Medianebene parallel sind, und so ergiebt
ı die oben angegebene Construction der geraden Horopterlinie.

Geschichtliches. Die Frage über den Grund des Einfach- und Doppeltsehens schon sehr alt. Schon Galenus[1] (geb. 113 p. C.) machte zur Erklärung des ersteren Annahme, dafs sich Sehnervenfasern im Chiasma der Sehnerven verbänden. Dieser tomischen Hypothese schlossen sich später an I. Newton,[2] Rohault,[3] Hartley,[4] H. Wollaston,[5] Joh. Müller.[6] Eine zweite Ansicht suchte die Schwierigkeit durch Annahme zu beseitigen, dafs wir immer nur mit einem Auge auf einmal sähen. ser Meinung war Porta.[7] Ihm schlossen sich Gassendi,[8] Tacquet, Gall und du Tour[9] Letzterer berief sich dabei namentlich auf die Phänomene des Wettstreits zwischen len Gesichtsfeldern und beschränkte die Annahme auch dahin, dafs bald gleichig mit beiden Augen, bald nur mit einem gesehen werden sollte.

Die dritte davon verschiedene Ansicht war die sogenannte Projectionstheorie, bei das Einfachsehen für einen Act unseres Verständnisses der Gesichtsempfindungen ärt wird. In ihrem Sinne äufsert sich schon Keppler;[10] mit ihm gleichzeitig stellte ilonius[11] die Theorie auf, dafs wir die Gesichtsbilder immer auf eine gewisse durch Fixationspunkt gehende Ebene projicirten, die er den Horopter nannte, und dafs einfach oder doppelt erschienen, je nachdem ihre Projection einfach oder doppelt

---

1 Galenus, *De usu partium.* Lib. X. cap. 12.
2 I. Newton, *Opticks.* 1717. p. 320. Query 15.
3 Rohault, *Traité de physique.* Paris 1671 und 1682. Part. I, cap. 31.
4 Hartley, *Observations on man.* I, 207.
5 W. H. Wollaston, *Phil. Trans.* 1824. I, 222.
6 J. Müller, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig 1826.
7 Porta, *De refractione.* p. 142. 1593.
8 Gassendi, *Opera.* Vol. II, p. 395.
9 Tacquet, Gall und du Tour, *Acta Paris.* 1743. p. 334. *Mém. des savants étrang.* III, 514. V 677.
10 Keppler, *Dioptrice.* Propos. LXII.
11 Aguilonius, *Opticorum* Libri VI. Antwerp. 1613.

wäre. Näher an KEPPLER's Ansicht schliefst sich PORTERFIELD an, indem er meint, w sähen die Objecte nicht doppelt, weil jedes Auge sie an ihren richtigen Platz verlegt was später dann so formulirt wurde, dafs wir sie in den Kreuzungspunkt der Visirlinie verlegen. In dieser Form ausgesprochen, würde das Gesetz mit der Existenz der Doppe bilder im Widerspruch sein. PORTERFIELD erwähnt wohl solche, die bei einer durc Druck oder Zerrung herbeigeführten Zwangsstellung des Auges eintreten, setzt hier ab voraus, dafs ein Irrthum über die Stellung des Auges stattfinde.

Diese drei Ansichten liegen auch den neueren Theorien meist mehr oder wenig vermischt zu Grunde; ein wesentlicher Fortschritt geschah aber durch genauere Unte suchungen der thatsächlichen Verhältnisse.

Das Gesetz der Erscheinungen wurde zuerst genauer und im Wesentlichen richt von J. MÜLLER[1] formulirt, indem er das Einfachsehen und Doppeltsehen davon abhäng machte, ob sich die Bilder des betreffenden Punktes auf identische oder nicht identisch Punkte beider Netzhäute entwerfen. Für die Lage der identischen Punkte gab er d der Hauptsache nach richtige Regel, dafs sie von der Mitte der Netzhäute in gleich Richtung gleich weit entfernt lägen. Er spricht sich dabei nicht mit Bestimmtheit fü eine besondere anatomische Hypothese (Vereinigung der identischen Fasern im Chiasm der Sehnerven oder im Gehirn) aus, behauptet aber, der Grund der Identität müsse ei organischer sein.

Genauere Bestimmungen der Lage der identischen oder correspondirenden Punkt wurden später namentlich von VOLKMANN[2] gegeben. Mit der beobachteten Lage de identischen Punkte war aber die Annahme des AGUILONIUS, dafs der Horopter ein Ebene sei, unverträglich. Schon VIETH[3] und JOH. MÜLLER hatten eingesehen, dafs sei
763 Schnitt mit der Visirebene ein durch den Fixationspunkt und die beiden Auge gehender Kreis sein müsse. Später zeigten A. P. PREVOST[4] und BURCKHARDT, dafs i den Augenstellungen ohne Raddrehung zu dem MÜLLER'schen Kreise noch eine gerad Linie komme, dafs der Horopter also überhaupt im Allgemeinen keine Fläche se HERING[5] erwies, dafs der Horopter im Allgemeinen immer eine Linie sein müsse; dam war seine Bedeutung im Sinne des AGUILONIUS aufgehoben. Die allgemeine Lösun des Horopterproblems, welche noch die Kenntnifs des Augenbewegungsgesetz erfordert und übrigens eine rein mathematische Aufgabe war, habe ich selbst und He E. HERING fast gleichzeitig gegeben.[6] Daran schliefst sich dann noch eine Arbeit vo

---

[1] J. MÜLLER, *Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig 1826. p. 71. *Lehrbu der Physiologie.* 1840. II, 376—87.

[2] A. W. VOLKMANN, *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Zweites Heft. Leipzig 1864.

[3] VIETH, *Gilbert's Annalen.* LVIII, 233.

[4] A. P. PREVOST, *Essai sur la théorie de la vision binoculaire.* Genève 1843; und *Poggendorff Annalen.* 1844. Bd. LXII, S. 548.

[5] HERING, *Beiträge zur Physiologie.* Heft III, S. 196—199. Leipzig 1863. Heft IV, 1864.

[6] Meine erste Mittheilung wurde gemacht der naturhistorisch-medicinischen Gesellschaft zu Heide berg am 24. October 1862, das Manuscript eingereicht am 8. November 1862. Darin sind zum erste Male Gleichungen für die Form des Horopters im allgemeinen Falle gegeben, freilich noch nicht ihrer einfachsten Form, indem er als Schnittlinie einer Fläche zweiten und einer vierten Grades au gedrückt ist. Auch ist darin noch nicht die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane berücksichtig Die Gestalt des Horopters im allgemeinen Falle ist darin kurz beschrieben. Ehe diese nur als vo läufige betrachtete Mittheilung durch den Druck veröffentlicht war (Herbst 1863), erschien das 3. He der Beiträge zur Physiologie von Herrn E. HERING, worin der Nachweis geführt war, dafs der Horopt jedenfalls immer mindestens eine Linie (wenn nicht Fläche) sein müsse, die Gestalt desselben aber n für die schon früher behandelten einfacheren Fälle wirklich bestimmt war. Dann folgte mein Aufsa über den Horopter im Archiv für Ophthalmologie X, 1, S. 1—60, dessen Correctur schon Mitte März 18 vollendet war, worin der Horopter als Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades dargestellt und d Einflufs der Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane erörtert ist. Ohne Kenntnifs dieser Arbe zu haben, hat Herr E. HERING im Juni 1864 sein 4. Heft zum Druck gesendet, welches ebenfalls d Rückführung auf die Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades enthält mit Benutzung der hier sehr geeigneten STEINER'schen Geometrie. Die dabei gegen meine erste Arbeit gerichtete Kritik beru wesentlich auf dem Mifsverständnisse, dafs ich von dem geredet habe, was ich oben Horopter, He HERING von dem, was ich die Horoptercurve genannt habe, und dafs beides nicht ganz identisch is wie ich in Poggendorff's Annalen CXXIII S. 158—161 auseinandergesetzt habe. Endlich enthält da

I. HANKEL,[1] in welcher eine ausführlichere analytische Behandlung des Problems gegeben st, aber ohne Berücksichtigung der hier sehr einflufsreichen Abweichung der scheinbar erticalen Meridiane.

Daneben ist dann seit WHEATSTONE's Erfindung des Stereoskops die Aufmerksam- eit der Forscher hauptsächlich mit der Verschmelzung der Doppelbilder beschäftigt ewesen, weil sich an diese namentlich die theoretischen Fragen anknüpfen über die rt des Zusammenwirkens beider Augen. Diese theoretischen Fragen können wir erst m Schlusse des nächsten Paragraphen besprechen. Den grofsen Einflufs, welchen die ewegung der Augen auf die Verschmelzung der disparaten Bilder körperlicher Objecte nd stereoskopischer Zeichnungen habe, zeigte zunächst BRÜCKE;[2] dafs dagegen eine lche Verschmelzung auch bei absoluter Vermeidung aller Augenbewegungen doch auch orkommen kann (wenn auch in viel geringerem Grade), bewies DOVE[3] durch Anwendung r elektrischen Beleuchtung, Beobachtungen, welche später durch VOLKMANN,[4] AUGUST[5], ECKLINGHAUSEN[6] mit abgeänderten Methoden wiederholt und bestätigt wurden. Über e Grenze und die Bedingungen der Verschmelzung enthalten namentlich die Arbeiten n PANUM[7] und VOLKMANN[8] eine grofse Menge sorgfältig gemachter Beobachtungen 764
d Messungen. Der viel bestrittene Versuch von WHEATSTONE, wonach die Eindrücke entischer Punkte zur Ausfüllung verschiedener Stellen des Anschauungsbildes von den hrgenommenen körperlichen Objecten gebraucht werden können, wurde einerseits stätigt durch NAGEL[9] und WUNDT.[10] Andererseits wurde dagegen hervorgehoben, dafs an bei hinreichender Aufmerksamkeit und Anwendung passender Mittel, um die ppelbilder leichter sichtbar zu machen, auch immer die Bilder getrennt sehen könne, n VOLKMANN,[11] E. HERING,[12] W. BEZOLD.[13] Dafs beides nicht nothwendig im Wider- uch steht, habe ich oben erörtert.

§ 32. Wettstreit der Sehfelder.

In den beiden vorausgehenden Paragraphen haben wir gesehen, dafs 766
r beim unbefangenen zweiäugigen Sehen Bilder körperlicher Objecte in den um vor uns projiciren, dafs wir aber auch andererseits, wenn wir auf s gemeinschaftliche Gesichtsfeld unserer Augen als solches achten, die

---

eft von HERING's Beiträgen wieder eine Kritik meiner zweiten Arbeit, aus der ich nur einen Punkt 350) erwähnen will, in welchem Herr HERING in der That Recht hat; dafs nämlich auf S. 44 meiner andlung der Winkel η allgemein gleich η_1 gesetzt worden ist. Es ist das eine Flüchtigkeit, die bei der letzten, vor einer Reise sehr eilig gemachten Überarbeitung des Aufsatzes untergelaufen in dem Streben die mathematische Abtheilung möglichst zusammenzudrängen. Ich hatte vorher die en Fälle, in denen jene Behauptung richtig ist, einzeln behandelt und der Fehler hat also auch er keinen Einflufs auf die Richtigkeit der Consequenzen. Die übrigen Ausstellungen, welche Herr ING macht, haben theils nur persönliches Interesse, und werden von Lesern, die sich für dergleichen ressiren sollten, ohne weitere Erörterungen meinerseits leicht erledigt werden, theils können sie durch vielfach wiederholte Beobachtungen vieler Individuen entschieden werden. Was ich von hen habe beibringen können, ist oben geschehen.

1 H. HANKEL, *Poggendorff's Annalen.* CXXII, 575—588.

2 BRÜCKE, *Müller's Archiv für Anatomie und Physiologie.* 1841. S. 459.

3 DOVE, *Monatsber. d. Berl. Akad.* 1841, 29. Juli.

4 VOLKMANN, *Leipz. Berichte.* 1859, S. 90—98.

5 AUGUST, *Poggendorff's Annalen.* CX, 582—593.

6 RECKLINGHAUSEN, *Ebenda.* CXIV, 170—173.

7 PANUM, *Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen.* Kiel 1858; und in *Reichert Du Bois-Reymond's Archiv.* 1861. 63—227.

8 VOLKMANN, *Archiv für Ophthalmologie.* II, 2, 1—100; und *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der* Heft II.

9 NAGEL, *Das Sehen mit zwei Augen.* Leipzig und Heidelberg 1861.

10 WUNDT, *Henle und Pfeuffer Zeitschr. für ration. Medicin.* (3) XII, 249.

11 VOLKMANN, *Archiv für Ophthalmologie.* II, 2, S. 72—86.

12 E. HERING, *Beiträge zur Physiologie.* Heft II, S. 81—131.

13 W. BEZOLD, *Sitzungsber. d. Bayrischen Akad. d. Wissensch.* Math. Phys. Klasse. 10. Dec. 1864.

beiden verschiedenen perspectivischen Projectionen, welche von den Objecte auf unseren Netzhäuten entworfen werden, als einander superponirt in de Fläche des gemeinsamen Gesichtsfeldes erblicken können. Die erste Ar des Sehens tritt vorzugsweise ein beim Sehen körperlicher Objecte, wen unsere Aufmerksamkeit den Gegenständen zugewendet ist. Wir wende dann immer die Gesichtslinien beider Augen demjenigen Objecte zu, au welches sich unsere Aufmerksamkeit zur Zeit richtet, und wir sehen diese also immer einfach und deutlich, und die ferner oder näher liegenden Gegenstände, welche zur Zeit im mehr oder weniger indirecten Sehen doppel erscheinen könnten, bleiben unbeachtet. Um Doppelbilder zu sehen, müsse wir auf unsere Gesichtseindrücke als solche achten und zu abstrahire suchen von den wahrgenommenen Objecten. Am ungestörtesten werden di Doppelbilder und die entsprechenden Erscheinungen der Congruenz ode Incongruenz der einzelnen Punkte beider Sehfelder beobachtet, wenn ma nicht nach wirklichen Objecten hinsieht, sondern nach zwei verschiedene Zeichnungen mit verschiedenartig gefärbten oder erleuchteten Linien un Feldern, wie dergleichen von uns gebraucht wurden, um die correspondirende Stellen der Gesichtsfelder zu finden.

In den bisherigen Fällen waren die Doppelbilder, welche gesehen wurde mehr oder weniger ähnlich den Bildern, welche man gelegentlich von eine und demselben äufseren Objecte erhalten kann, und uns deshalb geläufi und bekannt als Zeichen eines nicht im Horopter liegenden Objectes, s dafs wir mittels derselben sogar die Entfernung des ihnen entsprechende Objects noch annähernd richtig beurtheilen konnten.

767 Wir haben nun noch die Fälle zu untersuchen, wo beide Gesichtsfelde gefüllt sind mit ganz verschiedenartigen Formen, welche keine Combinatio zu dem Bilde eines Körpers zulassen. In solchen Fällen sieht man im Al gemeinen beide Bilder gleichzeitig und im Gesichtsfelde einander superponir Aber gewöhnlich herrscht in einzelnen Theilen des Gesichtsfeldes mehr da eine Bild vor, in anderen mehr das andere; und unter Umständen wechse das auch, so dafs, wo eine Zeit lang nur Theile des einen Bildes sichtba waren, nun die Theile des anderen hervortreten und jene ersteren verdränge Diesen Wechsel, in welchem die Theile beider Bilder bald neben einande bald nach einander sich gegenseitig verdrängen, pflegt man den W e t t s t r e i der S e h f e l d e r zu nennen.

Am einfachsten und regelmäfsigsten sind diejenigen Fälle, wo das ein Sehfeld in ganzer Ausdehnung gleichmäfsig gefärbt oder erleuchtet ist; ma bemerkt dann nur die Objecte, welche das andere Sehfeld enthält. Wen man also zum Beispiel ein Auge schliefst und mit dem anderen da bedruckte Blatt ansieht, so sieht man die Buchstaben und das weifs Papier im Sehfelde, ohne das Dunkel des anderen Sehfeldes zu bemerke Dabei ist zu beachten, dafs das Papier dabei nicht gerade entschiede dunkler aussieht, als wenn man es mit beiden Augen betrachtet. Da Schwarz des einen Feldes mischt sich also nicht mit dem Weifs de

anderen, sondern hat eben weiter gar keinen Einflufs auf die Erscheinung des anderen Bildes.

Ebenso ist es nun, wenn man das bisher verschlossene Auge öffnet und ein Blatt weifsen Papiers nahe davorhält, so dafs das bisher dunkle Sehfeld gleichmäfsig weifs beleuchtet wird. Auch dann sieht man die Buchstaben im anderen Felde unverändert, und wenn das gleichmäfsig weifse Papier nicht heller ist als das bedruckte, so erscheint letzteres auch nicht heller, wenn das andere Sehfeld gleichmäfsig weifs, als wenn es gleichmäfsig schwarz ist. Wenn man sich aber so wendet, dafs das weifse vor das eine Auge gehaltene Papier lebhaft von der Sonne beschienen wird, so erhält man allerdings beim Öffnen des betreffenden Auges den Eindruck, dafs das bedruckte Papier heller wird, wenn das andere Sehfeld erleuchtet wird, als wenn es dunkel bleibt.

Ähnlich verhält es sich nun auch, wenn nur gröfsere Theile des einen Sehfeldes gleichmäfsig beleuchtet, in dem entsprechenden Theile des anderen aber Figuren enthalten sind. Betrachtet man zum Beispiel die folgenden Buchstaben

AB   BC

so, dafs die beiden *B* auf einander fallen und einfach gesehen werden, so erscheinen sie wie

ABC

und zwar so, dafs das *A* und *C* nicht merklich dunkler sind, als das doppeläugig gesehene *B*. In diesem Falle also ist links vom *B* nur das linke Gesichtsfeld beachtet worden, welches das *A* enthält, und rechts vom *B* 768
tritt das *C* des rechten Sehfeldes hervor, während der gleichmäfsig weifse Grund des anderen Feldes sich nicht merklich geltend macht.

Wenn nun in beiden Sehfeldern breitere schwarz und weifse Figuren vorkommen, deren Grenzlinien in dem gemeinsamen Sehfelde sich gegenseitig durchschneiden, so ergiebt sich im Allgemeinen die Regel, dafs längs und in der Nähe jeder Grenzlinie dasjenige Sehfeld prädominirt, dem diese Grenzlinie angehört. Bringt man also zum Beispiel die beiden schwarzen Streifen der *Fig. V, Taf. VIII*, zum Decken, so dafs die weifsen Punkte in ihrer Mitte zusammenfallen, so entsteht ein Gesammtbild, wie es *Fig. 252* etwa darstellt. Die beiden Streifen erscheinen als Kreuz, dessen Mitte ganz schwarz ist, weil hier Schwarz und Schwarz sich decken. Der Grund erscheint weifs, weil auf ihm Weifs und Weifs sich decken. In den vier Schenkeln des Kreuzes deckt sich jedesmal Weifs des einen Feldes mit Schwarz des anderen; sie erscheinen aber keineswegs gleichmäfsig erhellt durch eine Mischung dieses Schwarz und Weifs. Vielmehr sind sie fast ganz schwarz an ihren Enden, wo sie an den weifsen Grund stofsen, und

fast ganz weifs, wo sie an das mittlere schwarze Quadrat stofsen, und dazwischen sind Übergänge des Schwarz in Weifs, die aber keineswegs eine ruhige Beleuchtungsart behalten und sich deshalb auch durch keinerlei bildliche Darstellung vollkommen wiedergeben lassen, sondern mannigfach wechseln. Das Ende jedes Streifens fällt zusammen mit einem Theil des gleichmäfsig weifsen Grundes des andern Gesichtsfeldes, und verdrängt diesen, so dafs es fast ganz schwarz erscheint. Nahe der Mitte jedes Streifens aber laufen über ihn die Grenzlinien des anderen aus dem anderen Sehfelde hin, und hier tritt also das Weifs des anderen Feldes längs der Grenzlinie auf dem Schwarz des erstgenannten Streifens deutlich hervor.

In den bisher betrachteten Fällen standen sich immer gegenüber eine Figur mit bestimmten Contouren und ein ganz leeres gleichmäfsiges Feld. Dabei zeigte sich, dafs die Contouren sich immer sichtbar machen und den Eindruck des leeren Feldes verdrängen. Setzen wir nun statt des ganz



Fig. 252.

leeren Feldes ein solches, welches ein feines gleichmäfsig wiederholtes Linien-
769 muster enthält, richten wir zum Beispiel das linke Auge auf das schwarze Kreuz der *Fig. W*, *Taf. VIII*, und gleichzeitig das rechte auf das carrirte Feld, so überwiegt im ersten Augenblick auch hier in der Regel das Kreuz so, als ob wir es auf einen reinen Grund projicirten, und nur in seiner Mitte und jenseits seines Umfanges wird vielleicht das Linienmuster sichtbar. Betrachten wir es ohne bestimmte Richtung unserer Aufmerksamkeit längere Zeit in dieser Weise, so tritt zeitweilig das Linienmuster auch wohl über das ganze Feld hervor und verdeckt das ganze Kreuz oder wenigstens einzelne Theile desselben. Dagegen mufs ich hervorheben, dafs ich mich jeden Augenblick im Stande finde, meine Aufmerksamkeit jedem Theile des Linienmusters, auch denen, die gerade auf den Rand des Kreuzes fallen, willkürlich und ausschliefslich zuzuwenden, und dafs ich dann nur das Linienmuster sehe, während das Kreuz meist ganz schwindet. Ich brauche nur eine Reihe von Quadraten des Linienmusters zu zählen, oder die Quadrate zu vergleichen, ob sie gleich grofs, ob sie rechtwinkelig sind und so weiter.

Während und so lange ich in dieser Weise meine Aufmerksamkeit fest auf die Quadrate fixire, bleiben sie mir auch im Gesicht. So wie ich im Gegentheil eine Ecke oder Seite des Kreuzes in ähnlicher Weise beobachte, verschwindet das Linienmuster mehr oder weniger vollständig, und ich sehe anhaltend das Kreuz.

Der Wettstreit wird noch auffallender, wenn die beiden sich deckenden Figuren gleich stark hervortretende Contouren haben. Bringt man zum Beispiel die beiden Linienpaare der *Fig. 253* zum Decken, so pflegen die meisten Beobachter im Anfang nur die senkrechten Linien an der Kreuzungsstelle zu sehen, während die horizontalen im Zwischenraum der Verticallinien oder auch selbst noch aufserhalb dieses Zwischenraums verschwinden. Bei längerem Fixiren tauchen sie von Zeit zu Zeit auf, während dafür die Verticalen verschwinden und umgekehrt. Aber auch hier kann ich beliebig das Bild des einen oder anderen Paares festhalten, wenn ich meine Auf-

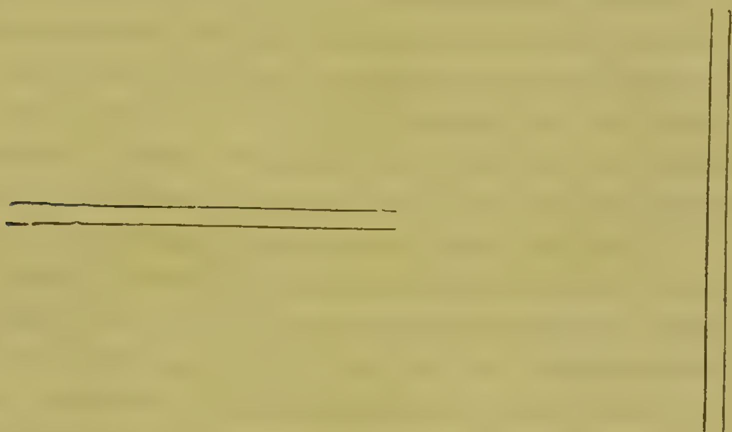


Fig. 253.

erksamkeit darauf richte und etwa untersuche, ob irgend welche Unregeläfsigkeiten an den Linien des einen oder anderen Paares vorkommen.

In complicirterer Weise zeigt sich derselbe Wettstreit an den mit verhieden gerichteten parallelen Linien bedeckten Feldern der *Fig. X, Taf. VIII.*
an sieht hier keine gleichmäfsige Kreuzung der Linien in dem Gesammt- 770
lde, wodurch ein ähnliches Linienmuster, wie das der *Fig. W* derselben fel, sich zusammensetzen würde; sondern man sieht meist eine ungleichifsige Mischung beider Muster, so dafs an einzelnen Stellen des Feldes s eine, an anderen das andere vorherrscht, wobei diese Stellen selbst rigens einem fortdauernden Wechsel unterworfen sind. Die schwarzen adrate in der Mitte der Felder sollen als Fixationszeichen dienen, wenn r Beobachter eine unveränderte Lage beider Felder über einander zu alten wünscht. Ohne einzelne correspondirende und stark hervorstechende eile der Figur ist dies sonst gar nicht möglich, vielmehr schwanken die cklinien dann fortdauernd zwischen verschiedenen Graden der Convergenz und her.

Zuweilen tritt auch wohl in ganzer Ausdehnung der Fläche das eine

System allein für kurze Zeit auf. Auch hier finde ich, dafs ich vollkomme willkürlich im Stande bin, meine Aufmerksamkeit bald dem einen, bald de anderen Liniensysteme zuzuwenden, und dafs dann dieses System für einig Zeit allein gesehen wird und das andere vollkommen verschwindet. Die geschieht zum Beispiel, wenn ich versuche die Linien erst des einen un dann des anderen Systems zu zählen. Ich finde ferner, dafs dieses Beachte des einen Liniensystems auch nicht von bestimmten Augenbewegunge abhängig ist; denn ich kann meinen Blick sowohl an den Linien, auf die ic achte und die ich sehe, entlang gleiten lassen, als auch rechtwinkelig gege ihre Richtung und also parallel der Richtung des anderen Systems fortführe so dafs ich von einer Linie zur anderen gehe, ohne dafs ich aufhöre, nu das System zu sehen, welches ich sehen will. Aber allerdings finde ic wie Wundt, dafs es leichter ist, das Bild derjenigen Linien festzuhalte deren Richtung man mit dem Blicke folgt; in der That ist dies auch di gewöhnliche Art unsere Aufmerksamkeit einer Linie zuzuwenden, dafs wi den Blick an ihr entlang laufen lassen, und indem wir die Bewegung unsere Augen absichtlich nach der Linie richten, sind wir auch sicher, unsere Au merksamkeit an die Linie zu fesseln.

Es ist aber allerdings schwer, die Aufmerksamkeit längere Zeit an eine der Liniensysteme von *Fig. W*, *Taf. VIII,* zu fesseln, wenn man nicht damit irgen einen bestimmten Zweck verbindet, der eine fortdauernde active Thätigke der Aufmerksamkeit bedingt, wie eben das Zählen der Linien oder die Ve gleichung ihrer Zwischenräume und so weiter ist. Ein anhaltender Ruhe zustand der Aufmerksamkeit ist ja auch unter anderen Verhältnissen kau für einige Zeit zu unterhalten. Der natürliche ungezwängte Zustand unsere Aufmerksamkeit ist herumzuschweifen zu immer neuen Dingen, und so wi das Interesse eines Objectes erschöpft ist, so wie wir nichts Neues meh daran wahrzunehmen wissen, so geht sie wider unseren Willen auf andere über. Wollen wir sie an ein Object fesseln, so müssen wir eben an diese selbst immer Neues zu finden suchen, besonders wenn andere kräftige Sinnes eindrücke sie abzulenken streben. Durch diese Eigenthümlichkeit unsere psychischen Thätigkeit erklären sich, wie mir scheint, die oben beschriebene Thatsachen.

Die letztgenannten Versuche kann man vielfach variiren; wenn ma zum Beispiel das quadratische Muster der *Fig. W*, *Taf. VIII*, mit eine
771 danebengelegten Blatte bedruckten Papiers zur Deckung bringt, kann ma ohne Schwierigkeit die Buchstaben lesen oder andererseits das Linienmuste betrachten. Dasselbe ist der Fall, wenn man eine fein ausgeführte Land karte oder eine Photographie mit einem bedruckten Blatte zum Decke bringt; es müssen nur nicht die Zeichnungen der einen Seite durch Hellig keit allzu hervorstechend sein gegen die der anderen Seite, und auc einander nicht zu ähnlich. Wenn man zum Beispiel zwei verschiedene Druck blätter mit gleicher Art von Druck combinirt, so verbindet der Beobachte unwillkürlich Theile der einen Parthie von Buchstaben mit solchen de

anderen Seite doppeläugig, und dadurch mischen sich dann die Buchstaben beider Seiten leicht durch einander.

Ich will namentlich hier auch noch hervorheben, dafs es mir gelingt, ganz schwache und zart gezeichnete Objecte des einen Sehfeldes zu sehen und dauernd zu beobachten, selbst wenn sie sich mit sehr kräftig gezeichneten Contouren des anderen Feldes decken. So kann ich die Faserung und die kleinen Fleckchen eines weifsen Papierblattes verfolgen, während im anderen Felde stark gezeichnete schwarze Figuren stehen. Oder ich kann eine mit einem dünnen weifsen Blatte zugedeckte und kaum erkennbare Druckschrift lesen, welche sich binocular etwa mit dem Gitter oder dem Kreuze der *Fig. W, Taf. VIII,* deckt. Oder ich kann mittels eines Spiegels, den ich vor das eine Auge halte, das helle Bild des Fensters zur binocularen Deckung mit einer verhältnifsmäfsig schwach erleuchteten Druckschrift bringen und diese lesen, ohne dafs sie mir jemals durch das viel hellere Bild des Fensters verdrängt wird. Natürlich kann ich ebenso gut das Spiegelbild des Fensters betrachten, wobei mir die Druckschrift verschwindet. Dafs man bei einem solchen Versuche sehr schwach beleuchtete Objecte des einen Feldes nicht immer erkennen kann, wenn das andere Auge auf ein sehr helles Feld gerichtet ist, findet seine Erklärung dadurch, dafs die Pupillen beider Augen unter dem Einflusse des hellen Lichts sich verengern und das Netzhautbild des dunkleren Feldes also wirklich noch sehr viel dunkler wird, als es ist, wenn das helle Bild verdeckt wird.

Aus den beschriebenen Erfahrungen geht hervor, dafs der Mensch die Fähigkeit hat, die Bilder jedes einzelnen Sehfeldes einzeln und für sich wahrzunehmen, ungestört von dem anderen Sehfelde, wenn es nur mittels eines der angegebenen Hilfsmittel gelingt, die Aufmerksamkeit ganz auf die Objecte dieses einen Feldes zu fesseln. Diese Thatsache ist wichtig, weil aus ihr hervorgeht, *dafs der Inhalt jedes einzelnen Sehfeldes, ohne durch organische Einrichtungen mit dem des anderen verschmolzen zu sein, zum Bewufstsein gelangt, und dafs die Verschmelzung beider Sehfelder in ein gemeinsames Bild, wo sie vorkommt, also ein psychischer Act ist.*

Um den Unterschied recht hervorzuheben, brauchen wir nur zu vergleichen die binoculare Verschmelzung der beiden schrägen und verschieden gerichteten Liniensysteme der *Fig. X, Taf. VIII,* mit der monocularen Vereinigung beider in dem Liniensysteme der *Fig. W.* Wir können auch in dem letzteren die Linien des einen Systems zählen oder ihre Abstände vergleichen, dabei werden aber niemals die Linien des anderen Systems aus dem Bilde verschwinden, wie dies bei der binocularen Vereinigung unter 772
diesen Bedingungen der Regel nach geschieht. Bei monocularer Betrachtung des combinirten Liniensystems der *Fig. W.* haben wir nur einen sinnlichen Eindruck, den wir durch keine Anstrengung der Aufmerksamkeit verändern können, wenn wir auch diese oder jene Züge desselben vorzugsweise beachten. Verschmölzen die beiden entsprechenden Bilder der *Fig. X* wirklich

zu einem einzigen und einfachen sinnlichen Eindrucke, so würde diese durch Anstrengung der Aufmerksamkeit allein in keiner Weise in sein Bestandtheile zu zerlegen sein. Charakteristisch ist es auch, dafs wen man mittels einer unbelegten Glasplatte im monocularen Gesichtsfelde da Bild des hellen Himmels mit einem bedruckten Blatte zum Decken bringt man bei gewissen Beleuchtungsgraden die Buchstaben nicht lesen kann während man sie sehr wohl lesen kann, wenn man binocular den sehr vie stärkeren Reflex einer belegten Spiegelplatte mit ihnen zur Deckung bringt

Der Wettstreit der Sehfelder, wie er sich bei binocularer Verschmelzun der obigen Bilder entwickelt, entspricht dem hin und herschwankende Zustande der nicht angestrengten und nicht interessirten Aufmerksamkeit die von einem Eindruck zum anderen zu wandern pflegt und so allmählic eine Übersicht der vorliegenden Objecte gewinnt. Dafs dieser Wechsel nich auf einer organischen Einrichtung des Nervensystems beruht, wie PANUM un E. HERING es auffassen, wenigstens auf keiner anderen, als die unsere Seelenthätigkeiten zu Grunde liegt, scheint mir evident aus der Thatsach der Selbstbeobachtung hervorzugehen, dafs wir durch die bekannten un oben genannten rein psychischen Mittel, die Aufmerksamkeit zu fesseln, da Schwanken sogleich anhalten können, ohne dafs dabei irgend eine bemerk bare Änderung der äufseren Umstände, der Richtung oder Bewegung de Augen und so weiter, stattfindet. PANUM hat darin Recht, dafs es nich genügt, die Aufmerksamkeit auf das verschwindende oder verschwunden Bild richten zu wollen, wobei er die Aufmerksamkeit für eine dem be wufsten Willen des Beobachters absolut unterthänige Thätigkeit erklärt. Da letztere ist nun doch nur in gewisser Beschränkung richtig. Wir bewege unsere Augen auch willkürlich, aber ein Ungeübter kann die Absicht sie convergiren zu lassen, nicht so unmittelbar ausführen. Wohl aber kan er in jedem Moment die Absicht ausführen, ein nahes Object anzublicken wobei die Augen convergiren. Ebenso wenig können wir die Absicht unser Aufmerksamkeit an einem bestimmten Objecte festzuhalten, wenn wir un diese Absicht in dieser Form innerlich aussprechen, erreichen, sobald da Interesse an dem Objecte erschöpft ist; aber wir können uns neue Frage in Bezug auf das Object stellen, so dafs ein neues Interesse daran entsteht und dann wird die Aufmerksamkeit gefesselt bleiben. Das Verhältnifs is also, wie bei dem oben genannten Beispiele; es ist keine unmittelbare sondern eine mittelbare Willkür. Wir können durch unsern Willen Act ausführen, bei denen das Auge oder die Aufmerksamkeit die Richtung erhält die wir wünschen, obgleich wir nicht durch einen direct darauf gerichtete Willensact ohne Zwischenglieder die Richtung des Auges oder der Aufmerk samkeit bestimmen können. Dagegen trifft allerdings, wie ich wiederum gegen PANUM behaupten mufs, die andere charakteristische Eigenschaft de
773 Aufmerksamkeit auch für den Wettstreit der Sehfelder zu, dafs sie durc geeignete Methoden an die allerschwächsten Sinneseindrücke gefesselt werde kann, während die allerstärksten im anderen Sehfelde sie abzulenken streben

atürlich ist dabei desto gröfsere Anstrengung nöthig, je ungünstiger das erhältnifs der Stärke für die beachteten Eindrücke ist.

Da wir nun übrigens, wie die oben beschriebenen Versuche mit momen- ner Beleuchtung deutlich zeigen, im Stande sind gleichzeitig eine gewisse nzahl von Gegenständen zu beachten und dadurch einen gewissen Theil es Sehfeldes auszufüllen, so wird auch hierbei im Allgemeinen zu erwarten in, dafs sich zunächst das Gesichtsfeld füllt mit denjenigen Objecten, die en stärkeren Eindruck machen, oder dafs bei gleich starken Reizen in eiden Sehfeldern ein Schwanken eintritt, oder ein Suchen nach einem sammenhängenden und verständlichen Eindrucke, wobei denn nicht noth- endig immer im ganzen Gesichtsfelde nur der Eindruck des einen Auges rzuherrschen braucht. Charakteristisch für dieses Suchen nach einem rständlichen Eindrucke ist auch das fortdauernde Schwanken der Blick- ien. Es ist kaum möglich, die beiden Bilder in gleicher Lage dauernd in ckung zu halten.

Etwas Anderes ist es, wenn sich die beiden verschiedenen Bilder als nliches Zeichen eines äufseren Objects betrachten lassen, dann wendet h die Aufmerksamkeit sogleich der Wahrnehmung von diesem zu, ohne r Verschiedenheit der beiden Netzhautbilder zugelenkt zu werden.

Was nun den merkwürdigen Einflufs der Contouren in dem Wettstreit r Sehfelder betrifft, so bin ich ebenfalls der Meinung, dafs derselbe im esentlichen auf psychischer Gewöhnung beruht. Erwägen wir nämlich, in lcher Weise unser Auge das Gesichtsfeld zu durchmustern hat, um eine lständige Kenntniss desselben zu erhalten, so ist klar, dafs es ganz nütze Mühe sein würde, dasselbe nach einander auf alle einzelnen Punkte er ausgedehnten gleichmäfsig beleuchteten Fläche richten zu wollen; wir rden dadurch nichts weiter erkennen. Es genügt vielmehr den Blick er die Grenze der Fläche hinzuführen und auf alle diejenigen einzelnen nkte zu richten, die sich von der Fläche abheben. Sobald dies geschehen haben wir eine so genaue Kenntniss von der Fläche, als das Auge uns en kann. Es sind deshalb namentlich die im indirecten Sehen sichtbaren touren, denen wir bei der Durchmusterung des Gesichtsfeldes erst unsere merksamkeit und dann unsern Blick zuzuwenden haben. Es ist bekannt, schwer es ist, einen kleinen Gegenstand, der im indirecten Sehen nicht erkt wird, auf einer ausgedehnten hellen Fläche aufzufinden; bezeichnend nt zum Beispiele GOETHE die Lerche „im blauen Raum verloren“. ererseits zieht ein etwas gröfserer und auch für das indirecte Sehen eichend scharf gezeichneter Gegenstand unmittelbar unseren Blick auf , und wenn man sich selbst bei der Betrachtung eines noch unbekannten ects beachtet, wird man leicht bemerken, wie man mit dem Blicke den touren folgt. Gewöhnung und Übung müssen also nothwendig dahin en, unsere Aufmerksamkeit den Contouren zuzuwenden. Auch bei den rasterscheinungen habe ich darauf aufmerksam gemacht, wie die Contouren entlich in das Gewicht fallen.

774 Man könnte auch daran denken, dafs die Erregung der Netzhautthei längs einer Grenze von Weifs und Schwarz lebhafter sei, so oft durch d Bewegungen des Auges Elemente der Netzhaut aus dem Schwarz in d: Weifs rücken. Diese ausgeruhten Elemente würden allerdings stärker erre werden, als die schon länger von Weifs getroffenen. Indessen glaube i nicht, dafs dieser Umstand hier wesentlich in Betracht kommt, weil wir b den oben beschriebenen Versuchen die Richtung der Augenbewegung ohne entscheidenden Einflufs gefunden haben, und weil die Contouren in d Doppelbildern sich auch gleich beim ersten Aufschlag der Augen gelte machen, wo noch keine Nachbilder entwickelt sein können.

Panum's Annahme dagegen, dafs die Contouren an und für sich die Netzha stärker erregen, scheint mir durch keine einzige sichere Thatsache unte stützt uud zur Erklärung der hier vorliegenden Erscheinungen gänzlich u nöthig zu sein. Bei den Contrasterscheinungen haben wir allerdings gesehe dafs der Unterschied der Beleuchtung oder Färbung zweier Felder län einer Contour, wo beide zusammenstofsen, stärker hervortritt als wenn bei von einander getrennt sind, und sogar relativ zu grofs erscheint. Wenn w aber von den Nachbildern absehen, so lassen sich die Erscheinungen d simultanen Contrastes darauf zurückführen, dafs wir besser geübt und sicher sind in der Vergleichung der Beleuchtung zweier neben einander liegende Netzhautpunkte, welche bei den Bewegungen des Auges viel häufiger u mittelbar hinter einander von derselben Beleuchtung getroffen werden, a dies bei entfernteren der Fall ist. Dafs uns ein solcher Unterschied relat zu grofs erscheint und dadurch dann Irrthümer in der Beurtheilung d Färbungen entstehen, entspricht der allgemeinen Regel, dafs wir überhau deutlich wahrnehmbare Unterschiede für gröfser zu halten geneigt sind, a undeutlich wahrnehmbare. Man könnte einen solchen deutlicher wahrnehm baren Unterschied vielleicht als einen stärkeren psychischen Reiz bezeichne und es mag zum Theil darin begründet sein, dafs er die Aufmerksamke stärker zu fesseln strebt. Einen stärkeren Nervenreiz dabei anzunehme vorausgesetzt, dafs Nachbilder vermieden werden, sehe ich keinen Grund.

Ähnliche Erscheinungen des Wettstreits treten nun auch ein, wen beiden Augen verschiedenfarbige oder verschieden erleuchtete Felder da geboten werden. Wenn man durch zwei verschiedenfarbige Gläser von leb haften Farben, zum Beispiel mit dem rechten Auge durch ein rothes, m dem linken durch ein blaues Glas, welche ungefähr gleiche Helligkeit habe nach den äufseren Objecten sieht, so erblickt man diese fleckig roth un blau und zwar so, dafs die Farben oft wechseln. Der unruhige sonde bare Farbenwechsel ist anfangs meist am lebhaftesten, bald stumpft sich d Empfindlichkeit für die Farben ab und das Aussehen wird dann ein ruhigere in einer unbestimmten mehr grauen Farbe, welche noch stellenweise un zeitweise zwischen einem röthlicheren oder blaueren Tone wechselt, un welche manche Beobachter für die Mischfarbe aus den beiden vereinigte also in diesem Falle für Rosa erklären. Ich selbst mufs sagen, dafs ic

rotz vieler und mannigfach veränderter Versuche in keinem Falle die Iischfarbe mit einiger Evidenz habe sehen können. Zum Theil bestimmen 775
uch die Eigenthümlichkeiten der Objecte, ob man mehr die eine oder die ndere Farbe sieht. Hellere Objecte erscheinen überwiegend roth, dunklere lau, wohl deshalb, weil überhaupt bei gröfserer Lichtstärke Roth, bei hwächerer Blau in der Empfindung überwiegt. Objectiv rothe Objecte erheinen natürlich auch roth, blaue blau, weil ein jedes durch das gleichımige Glas gesehen heller erscheint, als durch das anders gefärbte. Auch ier spielt wieder die Aufmerksamkeit auf das eine oder andere Feld eine ierkliche Rolle. Obgleich es sehr schwer ist, die Aufmerksamkeit gerade ur der Farbe des einen Feldes zuzuwenden, wenn sie dabei nicht unterstützt t durch Contouren, die diesem Felde angehören, so gelingt es doch einzelnen eobachtern (FUNKE,[1] J. DINGLE, VOELCKERS,[2] VOLKMANN,[3] E. A. WEBER,[4] ELCKER,[5] mir selbst), die Aufmerksamkeit auf das rechte Auge und was sieht, und dann ebenso auf das linke zu fixiren, wobei denn auf den bjecten die Farbe des zugehörigen Glases zum Vorschein kommt. FECHNER,[6] m der Wechsel durch willkürliche Anstrengung weniger gut gelang, glaubt esen Wechsel von einer unwillkürlichen Bewegung oder Compression des uges ableiten zu dürfen, welche nach seinen Beobachtungen nur überhaupt n Wechsel der Farbe begünstige, aber nicht gerade den Wechsel in der absichtigten Richtung. Sehr viel besser noch gelingt der Versuch, wenn an die Gläser so hält, dafs Spiegelbilder schwach erleuchteter, seitwärts gender Gegenstände von ihnen in das Auge geworfen werden. So wie an nun die Aufmerksamkeit einem dieser Spiegelbilder zuwendet, sei es ı noch so schwach sichtbares Schattenbild, so erscheint sogleich an der treffenden Stelle des Sehfeldes die Farbe des betreffenden Glases. Und nn in derselben Stelle des Gesichtsfeldes gleichzeitig ein Spiegelbild des dern Glases sichtbar ist und man wendet diesem die Aufmerksamkeit zu, tritt auch die andere Farbe hervor.

Um diesen Versuch methodisch ausführen, stellte ich eine blaue und rothe asplatte (*B* und *R* in *Fig. 254*) senkrecht einen Tisch; *C* ist ein dunkler Schirm, an der nach *B* gekehrten Seite ein Buchstaben bedrucktes Blatt trägt, ein eben solcher, an dessen innerer Seite end ein anderes mit den Buchstaben ht leicht zu verwechselndes Muster, also a eine Zahlentabelle angebracht ist. Bei

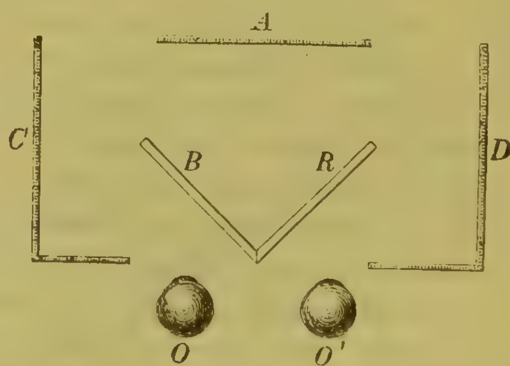


Fig. 254.

[1] FUNKE, *Lehrbuch der Physiologie.* 1. Aufl. Bd. II, 875.
[2] VÖLCKERS, *Müllers Archiv.* 1838. p. 61 und 63.
[3] VOLKMANN, *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichts.* p. 97, 99.
[4] E. A. WEBER, *Programma. Colleg.* 118.
[5] WELCKER, *Über Irradiation.* 1852. p. 107.
[6] FECHNER, *Abhandlungen der Sächsischen Ges. d. Wiss.* VII. (1860) 399–408.

A befindet sich ein weifser Schirm, *O* und *O'* sind die Augen des Beo achters. Die Beleuchtung regelt man so, dafs die Buchstaben und d Zahlen, welche der Beobachter in ihren von den Glasplatten entworfen
776 Spiegelbildern sieht, eben noch sichtbar sind, wenn der Bogen *A* sta beleuchtet ist. Scheinbar liegen für den Beobachter die Spiegelbild der Buchstaben und Zahlen auf dem Bogen *A*. Ich sehe nun ganz rege mäfsig, wenn ich den Buchstaben mit dem Auge zu folgen suche, den Gru blau, wenn ich den Zahlen folge, dagegen roth. Also die auf das Bild d einen Netzhaut gerichtete Aufmerksamkeit bringt auch den zugehörig farbigen Grund zum Vorschein. Hierbei ist noch zu bemerken, dafs d Contouren, welche in diesem Falle den einen Eindruck überwiegen mache Grenzen von Weifs und Schwarz sind, ohne dafs die Intensität der sichtb werdenden Grundfarbe an ihnen eine Veränderung erleidet. Oder wei man die ganze gemischte Beleuchtung zusammennimmt, so erscheinen d Buchstaben links reinblau auf weifslichem Blau, die Zahlen rechts reinro auf weifslichem Roth. Bei den Contrasterscheinungen würde die Aufmerksa keit nur dem Gegensatz von Schwarz und Weifs, nicht dem Blau oder Ro zugelenkt werden, was bei den hier beschriebenen binocularen Versuch gerade im Gegentheil geschieht.

Noch einfacher gelingt mir dieser Versuch sehr leicht und gut, wenn i nach dem Himmel blicke und vor das eine Auge ein rothes, vor das ande ein blaues Glas nehme, beide aber so gegen die Gesichtslinien neige, wie *Fig. 254,* dafs ich in jedem der Gläser schwache Spuren der Spiegelbild seitlich gelegener Objecte sehe, und nun bald das eine, bald das ande Glas ein wenig bewege, so dafs sich auch die von ihnen entworfenen Spiege bilder ein wenig bewegen. Achtet man auf diese bewegten Bilder, d übrigens ganz verwaschen und lichtschwach sein dürfen, so tritt sogleich a Himmel die Farbe des entsprechenden Glases heraus. Es ist ein wunde liches Schauspiel, wenn so plötzlich, wie auf Commando, der blaue Himm ganz roth, oder der rothe ganz blau wird.

Ob bei der binocularen Deckung verschiedenfarbiger Felder die Misc farbe gesehen werde, oder nicht, darüber sind verschiedene Beobachter dire entgegengesetzter Meinung. Während H. MEYER, VOLKMANN, MEISSNE FUNKE, denen ich mich selbst auch anschliefsen mufs, niemals die Misc farbe gesehen haben, erklären ebenso entschieden DOVE, REGNAULT, BRÜCK LUDWIG, PANUM, HERING, dafs sie sie gesehen haben, und zwar nicht blo bei matten und weifslichen Farben, sondern selbst bei gesättigten. Do berichtet, dafs er sie selbst an den allergesättigtesten Farben, denen d prismatischen Spectrum gesehen habe, indem er ein objectiv auf die Wa geworfenes Spectrum gleichzeitig mit einem umkehrenden und einem nic umkehrenden Fernrohr binocular betrachtete. Aufserdem empfiehlt als besonders geeignet Polarisationsfarben. Wenn man vor eine schwar Glasplatte, die das Licht unter dem Polarisationswinkel reflectirt, dün Glimmer oder Gypsblättchen in passender Lage anbringt, und vor das rech

Auge ein Nicol'sches Prisma in der Lage hält, wo es das von der Glasplatte reflectirte Licht im Maximum durchläfst, vor das linke Auge ein ebensolches Prisma, um einen rechten Winkel gedreht, so dafs es das reflectirte Licht nicht durchgehen läfst, so sieht man mit beiden Augen die Krystallblättchen farbig, und zwar zeigen sie für beide Augen genaue Complementärfarben. Dove und Regnault haben nun in solchen Fällen diese Complementärfarben sich binocular zu Weifs vereinigen gesehen. Ich 777
habe diese Versuche wiederholt und mir sind sie regelmäfsig und vollständig mifslungen. Ich sehe sowohl mit spectralen als mit Polarisationsfarben genau denselben Wettstreit und Wechsel der verschiedenen einfachen Farben, ohne dafs die Mischfarbe zum Vorschein kommt, wie bei Pigmentfarben und den Farben gefärbter Gläser. Ich habe auch senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatten zu diesen Versuchen sehr vortheilhaft gefunden. Wenn man die Nicol'schen Prismen vor den Augen dreht, kommen neue Farben zum Vorschein. Ich sehe aber immer beide Farben getrennt, und gleichsam eine durch die andere, und kann immer augenblicklich angeben, ohne ein Auge zu schliefsen, welche Farben da sind. Zur Vergleichung mit den Farben hat man dabei den hellweifsen Grund der spiegelnden Platte, der die Mischfarbe zeigt, welche zum Vorschein kommen sollte, und eben deshalb ist es leicht, bei diesen Versuchen den grofsen Unterschied zwischen der binocularen Vereinigung verschiedener Farben und ihrer wirklichen Vereinigung zu erkennen.

Obgleich ich einsehe, wie mifslich es ist, so vielen ausgezeichneten und zuverlässigen Beobachtern in einer Sache zu widersprechen, in der vielleicht aufserordentlich grofse individuelle Unterschiede bestehen, so will ich hier doch einige Umstände anführen, welche bei meinen eigenen Versuchen zuweilen den Schein einer Mischfarbe hervorbrachten, während sich bei genauerer Untersuchung herausstellte, dafs für mein Auge wenigstens eine solche nicht vorhanden war.

Zuerst ist folgendes zu bemerken: wenn man die binoculare Combination zweier Farben vor sich hat und aufserdem auch noch beide Componenten einzeln, wenn man also z. B. mit parallelen Augenaxen nach einem blauen Felde blickt, welches seitwärts an ein rothes anstöfst, so dafs ein Doppelbild der Grenzlinie erscheint und auf der einen Seite sich Blau mit Blau, auf der andern Roth mit Roth, in der Mitte aber Roth mit Blau deckt, so unterscheidet sich das mittlere Blau von dem reinen Blau an seiner Seite allerdings dadurch, dafs zu ihm im Gesichtsfelde auch noch mehr oder weniger Roth hinzukommt, und Jemand, der die Mischungsregeln der Farben kennt und gewöhnt ist, aus Blau und Roth sich Violett oder Purpur zusammensetzen zu sehen, könnte dies mit Roth zusammengesetzte Blau nun wohl für Violett erklären. Auch kommt es ja selbst im monocularen Felde vor, dafs wirklich bestehendes Violett vermittels des Contrastes gegen nebenstehendes Blau, oder weil das Blau einer über die Farben hingebreiteten Decke oder der Gesammtbeleuchtung des Feldes anzugehören scheint, vom Beobachter

in Blau und Roth aufgelöst wird. Wir haben Beispiele der Art § 2 besprochen. Es kann also wirklich monocular zu Violett vereinigtes Rot und Blau unter Umständen so getrennt erscheinen, wie das binocul sich deckende für meine Augen immer erscheint, und dadurch kann e solcher Beobachter vielleicht verleitet werden zu glauben, dafs wo er Bl und Roth gleichzeitig sieht, dafs da Violett oder Purpur sei. Wenn m nun aber die wirkliche Mischfarbe der beiden gesehenen Farben zur E scheinung bringt, so tritt der Unterschied schlagend hervor. Die beste u
778 genaueste Methode die Mischfarbe hervorzubringen, ist folgende. Man le zwei blaue und zwei rothe quadratische Felder wie die eines Schachbret zusammen, so dafs z. B. das rechte obere und linke untere blau, das lin obere und rechte untere roth sind. Dann bringt man vor jedes Auge e doppeltbrechendes achromatisirtes Kalkspathprisma in derjenigen Stellun dafs es über einander liegende Doppelbilder giebt. Indem die Doppelbild der farbigen Felder sich theilweis über einander schieben, entsteht für jed Auge längs der horizontalen Trennungslinie der farbigen Felder ein a Roth und Blau monocular gemischter, also rosarother Streifen. Jetzt blic man mit parallelen Gesichtslinien nach den Feldern hin, so dafs ihre Bild sich binocular über einander schieben. Dann hat man oben rechtes Bl und linkes Roth sich deckend, in der Mitte Rosaroth mit Rosaroth, unt rechtes Roth mit linkem Blau. Unter diesen Umständen ist es für mei Augen ganz deutlich, dafs in der binocularen Combination von Blau u Roth keine Spur von dem Rosenroth, wie es der mittlere Streifen zeigt, en halten ist, sondern nur die beiden einzelnen Farben getrennt.

Panum legt Gewicht darauf, dafs die binocular zu mischenden Farb nicht zu lebhaft und nicht zu verschieden sein dürfen, weil sonst der Wet streit der Sehfelder zu lebhaft und unruhig sei, und man dadurch verhinde werde, die Mischfarbe zu erkennen. Ich habe deshalb nach der bei d Contrasterscheinungen schon früher beschriebenen Methode von H. Mey die zu combinirenden farbigen Felder mit feinem weifsen Papier überdeck so dafs durch das Papier die unterliegenden Farben nur schwach durc schimmerten. Als ich nun diese sehr weifslichen Farben zur Deckur brachte, glaubte ich in der That zuerst wirklich eine Mischfarbe zu sehe Indessen wenn ich die wirkliche Mischfarbe der beiden Felder auch no daneben brachte, erkannte ich wieder den Wettstreit der Sehfelder in d binocular gedeckten Feldern.

Zuweilen gelingt es, unter einer Auswahl farbiger und grauer Papie einzelne zu finden, die genau die Mischfarbe zweier anderen, wie sie dur ein doppeltbrechendes Prisma hergestellt wird, darbieten; dann werden d Versuche noch leichter und schlagender. Ich legte neben einander ein Bla von grünem und rosenrothem Glanzpapier, so dafs ihre Grenzlinie vertic war. Quer darüber, also horizontal, legte ich einen Streifen grauen Papier welches der Mischfarbe von jenen beiden Farben entsprach. Das Gan wurde mit feinem weifsen Papier überdeckt. Wenn ich nun diese Feld

mit einem doppeltbrechenden Prisma so ansah, dafs die Doppelbilder horizontal auseinander geschoben wurden, so deckte sich längs des horizontalen grauen Streifens Grau mit Grau, darüber und darunter in der Mitte Rosa mit Grün, welche ebenfalls Grau gaben, und dieses letztere Grau ging ununterscheidbar über in das Grau des horizontalen Streifens. Wenn ich aber nach Entfernung des doppeltbrechenden Prisma binoculare Doppelbilder erzeugte, so hob sich der Streifen, wo Grau auf Grau lag, sehr entschieden ab von dem, wo Rosa auf Grün lag, und im letzteren erschienen wieder die beiden Farben neben einander. Nahm ich aber den mittleren grauen Streifen fort, so erkannte ich den Wettstreit der Sehfelder nicht mehr deutlich und bemerkte dann in diesem Felde nur das Gemeinsame beider Farben, nämlich das Weifs.

In andern Fällen sind es Nachbilder, die eine scheinbare Mischung 779
hervorbringen. Dazu läfst sich sehr gut die eben beschriebene Anordnung benutzen: oben ein grauer Streifen, unten rechts grün, links rosenroth, welche beide letzteren Farben, durch das doppeltbrechende Prisma gemischt, das obere Grau geben. Ich bringe die beiden unteren Felder zur binocularen Deckung und sehe anfangs nur lebhaften Wettstreit zwischen ihnen. Wenn ich aber lange anhaltend fixire, fängt endlich das binocular gemischte Feld an, dem oberen Grau ähnlich zu werden, und nur wenig bald nach der Seite des Roth, bald nach der des Grün hin abzuweichen. Wenn ich aber nun das Roth mit Grün bedecke und dabei das eine oder andere Auge schliefse, so erscheint mir das Nachbild des Grün auf Grün, während in dem Theile des Feldes, wo vorher Rosa lag, jetzt das reine gesättigte Grün sichtbar wird. Da sieht man denn sehr deutlich, dafs das durch Ermüdung veränderte Grün in der That dem Grau des oberen Streifens sehr ähnlich geworden ist. Dasselbe findet man am Rosaroth, wenn man das Grün verdeckt. Die scheinbare Mischung der Farben zu Weifs beruht also in diesem Falle darauf, dafs die Farben selbst in der Empfindung in Folge der entstehenden complementären Nachbilder dem Grau viel ähnlicher geworden sind, und dafs der Unterschied und Wettstreit der einander ähnlich gewordenen Farben zuletzt nicht mehr so auffällt, wie der der ursprünglichen lebhaften.

In gewissen Fällen kann die auf S. 554 erwähnte Induction der Farbe des Grundes über ein kleines andersfarbiges Feld scheinbare binoculare Mischung hervorbringen. Ich betrachtete einen blauen horizontalen Streifen auf rothem Grunde längere Zeit in Doppelbildern in starrer Fixation, indem ich ein schwarzes auf dem Blau angebrachtes Pünktchen mit einem ebensolchen auf dem Roth binocular vereinigte. Anfangs sah ich nur den Wettstreit des Roth und Blau auf dem Theil des Feldes, wo sich Roth und Blau deckte. Endlich aber bemerkte ich, dafs wirkliches Violett eintrat. Als ich aber nun das eine Auge schlofs, erkannte ich das inducirte Roth auch monocular auf dem blauen Streifen.

Am auffallendsten endlich finde ich den Schein einer binocularen

Mischung in einem schon von H. Meyer und Panum[1] besprochenen Fall Es befinde sich rechts ein gelbes Feld, auf dem horizontal ein rosenroth Streifen liegt, links ein blaues mit einem verticalen Streifen von demselbe Rosenroth. Man bringe das gelbe und blaue Feld zur binocularen Deckun so dafs die beiden rosenrothen Streifen sich scheinbar kreuzen, so erschei der linke, welcher gröfstentheils auf das gelbe Feld fällt, allerdings vi gelblicher, als der rechte, der sich gröfstentheils mit dem blauen Fel deckt. In der Mitte, wo beide Felder sich kreuzen, sieht man reines Rose roth, oder vielmehr, wie mir scheint, das gelbliche Rosenroth des einen ge hier unter dem bläulichen Rosenroth des anderen Streifens gleichsam u verschmolzen hindurch. Panum betrachtet die gelbliche Färbung des ein Rosenroth, die bläuliche des anderen als Folge ihrer binocularen Mischu
780 mit der Farbe des gegenüber stehenden Feldes. Zu beachten ist hierb dafs die Veränderung der beiden rosarothen Streifen am lebhaftesten wir wenn man den Blick wandern läfst, weil dann der auf Gelb liegende d blaue Nachbild des Gelb bekommt, der auf Blau liegende das gelbe Nac bild des Blau. Aber in schwächerem Grade ist die Wirkung allerdings au bei fest fixirendem Blick vorhanden. Doch kann man auch in diesem Fal sich überzeugen, dafs man es hier zunächst mit einer Contrastwirkung thun hat. Die veränderte Färbung des Rosaroth bleibt nämlich auch bestehe wenn man durch Schlufs des anderen Auges die binoculare Mischung aufhe Man schliefse das rechte Auge, welches nach dem gelben Felde gericht ist, so bleibt der rosenrothe Streif auf dem noch übrigen blauen Felde gelblich, wie er vorher war. Im Moment des Augenschlusses verschwind freilich noch das ihn binocular deckende Gelb, wie eine Art gelben Nebe durch welchen hin man ihn sah, aber die scheinbare Färbung des Rosenro selbst bleibt dabei ganz unverändert. Ebenso erscheint der rosenrothe Str auf dem Gelb unverändert bläulich roth, wenn man auch das nach dem Bl blickende linke Auge schliefst. Daraus folgt also, dafs die Veränderung d Rosa nicht oder wenigstens nicht allein, von binocularer Mischung herrüh sondern eine Contrastwirkung ist. Schon von Anfang an, auch bei monoc larer Betrachtung, erscheint das Rosa auf dem blauen Felde durch Contra gelblicher, das auf dem gelben Felde bläulicher. Sobald man die beid Felder zur Deckung bringt, wird die Contrastwirkung allerdings viel le hafter; ist sie aber einmal so lebhaft entwickelt, so schwindet sie auch nic wieder, wenn man selbst ein Auge schliefst und somit die binoculare Deckui aufhebt. Bei jedem Contraste ist die Beurtheilung der Farbe, wie wir u in § 24 zu zeigen bemühten, innerhalb eines gewissen Intervalls unsich Nebenumstände bewirken, dafs man die gesehene Farbe eher nach der ein Seite dieses Intervalls, als nach der anderen verlegt. Bei dem hier b sprochenen Versuche kann die binoculare Deckung mit der Complementä farbe des Grundes, auf dem der rosarothe Streifen liegt, wohl als ein solch

[1] Panum, *Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen.* Kiel 1858. S. 41. Fig. 27 und

Nebenumstand betrachtet werden. Übrigens komme ich unten noch auf die Lehre von den binocularen Contrasten wieder zurück.

Was die Theorie der binocularen Zusammensetzung der Farben betrifft, so ist diese, wenn wir von TH. YOUNG's Farbentheorie ausgehen, von ihrer monocularen Mischung nur dadurch unterschieden, dafs die den drei verschiedenen Grundfarben entsprechenden Nervenfasern, welche in verschiedenem Grade gereizt werden, dort auf beide, hier nur in einer Netzhaut vertheilt sind. Die drei verschiedenartigen Nervenfasern, welche demselben Punkte einer Netzhaut angehören, haben entweder dasselbe Localzeichen, oder wenn sie verschiedene Localzeichen haben, so kann doch keine mögliche Erfahrung vorkommen, bei der sie durch Objecte, die in verschiedenen Theilen des Gesichtsfeldes lägen, erregt würden. Eine Veranlassung zu getrennter Localisation dieser Empfindungen in Bezug auf die Richtungen im Sehfeld kann also nicht vorkommen. Ihre verschiedenen Empfindungen verschmelzen also in eine zusammengesetze Empfindung, die Empfindung einer Mischfarbe, welche der Regel nach als das sinnliche Zeichen für eine bestimmte Beschaffenheit des örtlich einfachen Objects auftritt, das sich in jenem Theile *781*
des Sehfeldes befindet. Und doch haben wir gesehen, dafs auch bei monocularer Mischung Fälle eintreten, wo wir eine der zusammengesetzten Farben durch die andere hindurch zu sehen glauben, wenn entweder die ungleichmäfsige Vertheilung des Lichts, oder die Bewegung eines örtlich begrenzten Feldes, oder die Anwesenheit eines Theils der Farbe im ganzen Gesichtsfelde uns darauf hinleiten, eine farbige Beleuchtung oder eine farbige Decke von einem farbigen Objecte zu trennen.

Bei ungleichartiger Beleuchtung correspondirender Theile beider Netzhäute ist nun der Eindruck ein solcher, wie er bei einer von allen Seiten gleichmäfsigen Beleuchtung eines einfachen Objects niemals vorkommen kann. Dennoch versetzen wir (aber wahrscheinlich nicht in Folge einer angeborenen Einrichtung unseres Nervensystems, sondern nur in Folge von Einübung) beide Farben in eine und dieselbe Gegend des gemeinsamen Gesichtsfeldes. sieht man also zwei Farben in dem gleichen Felde und empfindet jede getrennt von der andern. Am ähnlichsten ist dieses Gesichtsbild jedenfalls denjenigen Fällen monocularer Mischung, wo wir zwei farbige Objecte hinter einander in der gleichen Stelle des Sehfeldes sehen oder zu sehen vermeinen, und von einer Zahl der Beobachter, wozu ich mich selbst rechnen mufs, wird die Sache also auch jedenfalls nur so gesehen. Dabei tritt das Schwanken der Aufmerksamkeit ein, die sich entweder dem einen oder anderen Felde zuwendet, und giebt sich als Wettstreit zu erkennen. Etwas dem Wettstreit ähnliches, nur sehr viel schwächer entwickelt, kann man übrigens auch im monocularen Felde sehen, wenn man mittels einer unbelegten Glasplatte das Spiegelbild eines Objectes mit dem durch die Platte gesehenen anderen Objecte zum Decken bringt, vorausgesetzt, dafs beide ohnehin gleich hell und deutlich gezeichnet sind, aber ganz verschiedenes Muster haben. Dann kann man entweder das eine oder andere Object

betrachten, das nicht beachtete tritt auch in diesem Falle mehr zurü wenn es auch nie so vollständig schwindet, wie bei binocularer Deckui Durch kleine Bewegungen der reflectirenden Platte kann man sich nöthige falls die Trennung der beiden Bilder sehr erleichtern.

Da übrigens nach Young's Theorie die Anschauung von Mischfarb doch immer nur darauf beruht, dafs drei verschiedene Farbenempfindung in dieselbe Stelle des Sehfeldes hinein projicirt werden, und es selbst l monocularer Mischung nur auf einem je nach den Nebenumständen v schieden ausfallenden Acte des Urtheils beruht, ob dieselben als sinnlicl Zeichen einer einfachen Qualität eines Objects oder zweier verschieden Qualitäten zweier Objecte angesehen werden, so erscheint es andererse nicht unmöglich, dafs bei der binocularen Deckung zweier Farben von Verschiedenheit, welche zwischen dieser Art des Eindrucks und dem monocularen Mischung stattfindet, abgesehen werde, und die Farben so v einigt wie bei letzterer angesehen werden. Nach Young's Farbentheo ist die Mischfarbe ja auch weiter nichts als die Addition dreier verschied artiger, sich sonst gegenseitig nicht beeinflussender Eindrücke, welche d selbe Localisation haben, und die Urtheilsacte, nach denen bald Vereinigu bald Trennung eintritt, können bei verschiedenen Beobachtern je nach E
782 übung und verschiedener individueller Erfahrung natürlich sehr verschied ausfallen. Dafs dabei die Vereinigung sehr ähnlicher Farben, die also Gemeinsames und wenig Verschiedenes haben, leichter erfolgen kann, die sehr verschiedener, ist an und für sich selbstverständlich. Dazu kom auch noch, dafs kleine Verschiedenheiten des Eindrucks auf beide Aug häufig auch bei Betrachtung desselben reellen Objects vorkommen könn wenn das eine Auge mehr ermüdet oder ausgeruht ist als das andere, o wenn seitlich sehr helles oder farbiges Licht einfällt, welches in ihm zerstr wird, und so weiter. Die Ausgleichung solcher kleinerer Verschiedenheit kann also zur Sache der Gewohnheit werden und übersehen werden. We man freilich ein Feld, welches einen solchen Eindruck darbietet, dicht net ein anderes stellt, in welchem zwei gleiche Farben zur Deckung komm so erkennt man die Verschiedenheit und bemerkt den Wettstreit, der a zwischen wenig differenten Eindrücken vor sich geht.

In ganz eigenthümlicher Weise endlich macht sich die binoculare Com nation verschieden farbiger oder verschieden beleuchteter Felder geltend stereoskopischen Zeichnungen. Macht man nämlich in dem einen von z zusammengehörigen Bildern eines Körpers eine Fläche weifs, die man dem andern Bilde schwarz läfst, oder giebt man ihnen verschiedene, besten nicht zu sehr verschiedene Farben, so erscheint eine solche Fläc in der stereoskopischen Combination glänzend, während alle diejenig Theile des Körpers, die in beiden Zeichnungen gleiche Färbung und I leuchtung haben, matt erscheinen. Übrigens ist dieser Schein des Gl zenden oder Matten durchaus unabhängig davon, ob die Flächen d Zeichnung wirklich matt oder glänzend sind, vorausgesetzt, dafs sie

letzteren Falle nicht gespiegeltes Licht in das Auge des Beobachters zurückwerfen.

Man kann sogar stereoskopische Linienzeichnungen, zum Beispiel von Krystallmodellen, einerseits mit schwarzen Linien auf weifsem Grunde, andererseits mit weifsen Linien auf schwarzem Grunde ausführen und solche Zeichnungen stereoskopisch combiniren. Man erhält dabei den Eindruck, als wäre der Körper, den man sieht, aus einer dunklen glänzenden Masse, wie Graphit, ausgeführt und läge auf einer Fläche von Graphit. Ein solches Beispiel zeigt *Fig. Q, Taf. VI.*

Auch in photographischen Stereoskopbildern von glänzenden Gegenständen, z. B. glänzenden Pflanzenblättern, Atlas u. s. w., wird man häufig Stellen finden, welche in beiden Zeichnungen verschieden helle Reflexe zeigen und in dem combinirten Bilde den Eindruck des Glanzes hervorrufen. Am ausgezeichnetsten vielleicht ist dieser Eindruck auf momentanen Photographien einer welligen, von der Sonne beschienenen Wasserfläche. Ebenso wird man sich bei Betrachtung objectiver glänzender Körper sehr oft überzeugen können, dafs einzelne Stellen derselben dem einen Auge einen viel stärkeren Reflex zusenden als dem andern.

Hierin scheint mir auch der Grund zu liegen, warum in stereoskopischen Zeichnungen verschieden beleuchtete Flächen combinirt glänzend erscheinen. Wenn eine matte Oberfläche von Licht getroffen wird, so sendet sie dieses Licht gleichmäfsig nach allen Richtungen in der Weise zurück, dafs sie von allen Richtungen aus gesehen gleich hell erscheint. Folglich wird sie auch unter den normalen Bedingungen des Sehens unseren beiden Augen immer 783
gleich hell erscheinen. Glänzende Flächen dagegen sind solche, die eine mehr oder weniger regelmäfsige spiegelnde Reflexion zeigen. Sie können eine Menge gröfserer oder kleinerer hügeliger Unebenheiten zeigen; wenn die Oberfläche dieser Hügel polirt ist und überwiegend einer bestimmten Richtung sich nähert, so werden sie doch auffallendes Licht in überwiegender Menge in derjenigen Richtung zurückwerfen, in der eine regelmäfsig spiegelnde Fläche alles Licht zurückwerfen würde. Unter diesen Umständen wird es oft vorkommen, dafs eines unserer Augen sich in der Richtung des zurückgeworfenen Lichts befindet, das andere nicht. Dem ersteren erscheint dann die betreffende Fläche stark erleuchtet, dem anderen schwach. Sehen wir also im Stereoskope an dem Bilde eines Körpers eine Fläche mit beiden Augen verschieden stark erleuchtet, so erhalten wir einen sinnlichen Eindruck, den in Wirklichkeit nur glänzende, aber niemals matte Flächen hervorbringen können, und die betreffende Fläche erscheint uns deshalb glänzend.

Ebenso kann es vorkommen, dafs ein glänzender Körper, der von farbigen umringt ist, dem einen Auge reflectirtes Licht von einer, dem andern von anderer Farbe zusendet, also beiden Augen verschiedenfarbig erscheint, während ein matter Körper unter den normalen Bedingungen des Sehens nothwendig beiden Augen immer gleichfarbig erscheinen mufs. Wenn also im Stereoskop dieselbe Fläche in der einen Zeichnung anders gefärbt ist als

in der andern, so erregt uns das einen sinnlichen Eindruck, wie ihn glänzende Körper hervorbringen können. Da sich in der Regel die Fa des glänzenden Körpers selbst mit der der beiden Reflexe mischt und letzteren selten ganz rein nur die eine Farbe reflectiren, so sind die Unt schiede in der Färbung solcher Reflexe glänzender Körper für beide Au in der Regel nicht sehr grofs, und dem entsprechend gelingt es besser Gl hervorzubringen durch Verbindung von Farben, die nicht sehr verschied sind, als durch sehr glänzende und sehr differente. Letztere lassen m Wettstreit als Glanz sehen.

Nach den Beobachtungen von Wundt tritt der Glanz in der Combinat zweier farbigen Felder am besten hervor, wenn beide ungefähr gleich st mit dem Grunde, auf dem sie liegen, contrastiren, schwächer, wenn ei viel stärker contrastirt; dann überwiegt nämlich dasselbe im Wettstreite Sehfelder zu sehr und unterdrückt das andere. Legt man zum Beispiel helles gelbes und ein dunkles blaues Quadrat von gleicher Gröfse auf weif oder schwarzen Grund, und bringt sie zur binocularen Deckung, so unt scheidet sich im einen Falle das Gelb zu wenig vom weifsen Grunde, andern das Blau zu wenig vom schwarzen Grunde, und der Glanz ist v schwächer, als wenn man beide Quadrate auf grauen Grund legt, der si von beiden gleich stark unterscheidet.

Auch dadurch, dafs man auf dem einen Quadrate Zeichnungen scharfen Contouren anbringt, kann man dieses im Wettstreit so begünstig dafs die Erscheinung des Glanzes undeutlich wird.

Auch kann man binocularen Glanz hervorbringen, ohne gerade ster skopische Zeichnungen zu benutzen, wenn man durch zwei verschied gefärbte Gläser nach buntgefärbten Objecten hinsieht, zum Beispiel dur
784 ein blaues und ein rothes Glas nach einem in Blau und Roth ausgeführt Muster. Durch jedes Glas erscheint die gleichnamige Farbe hell, die ande dunkel, und man sieht das Muster sehr auffallend glänzend. Wichtig dabei die Bemerkung von Dove, dafs, wenn im Wettstreit der Augen eine oder andere Farbe sich ganz hervordrängt, der Glanz verschwindet, Moment des Übergangs aber, wo beide neben einander sichtbar sind, d Glanz auftritt.

Der Metallglanz ist dadurch charakterisirt, dafs das regelmäfsig reflectir Licht selbst schon gefärbt und nicht weifs ist, wie das der durchsichtig Stoffe. Metallglanz kommt deshalb auch Körpern zu, welche die Farb dünner Blättchen geben, wie bunte Vogelfedern, und gewissen stark gefärbt und brechenden Stoffen, wie Indigo.

Die Erscheinung des stereoskopischen Glanzes ist für die Theorie d Thätigkeit beider Netzhäute deshalb von Interesse, weil daraus mit Siche heit hervorgeht, was bei den verschiedenen Aussagen verschiedener Beo achter über die Erfolge der binocularen Deckung verschiedener Bilder vie leicht zweifelhaft bleiben könnte, dafs zwei heterogene Lichtwirkungen a correspondirende Netzhautstellen stets einen durchaus andern sinnlichen Ei

druck machen, als zwei gleichartige Einwirkungen auf dieselben Stellen. Wenn das eine Auge Schwarz sieht und das andere in dem correspondirenden Theile des Sehfeldes Weifs, so ist der sinnliche Eindruck der einer glänzenden weifslichen Fläche. Wenn wir aber das weifse Licht, was bisher auf die eine Seite allein fiel, auf beide Seiten gleichmäfsig vertheilen, also Grau mit Grau combiniren, so giebt das den Eindruck von mattem Grau, welcher ganz bestimmt unterschieden ist von dem Eindruck des glänzenden Weifs, den die erste Combination machte.

Dasselbe gilt für den durch binoculare Vereinigung verschiedener Farben erzeugten Glanz.

Man kann zwar denselben Schlufs schon aus der Thatsache ziehen, dafs zwei stereoskopische Zeichnungen, binocular combinirt, nicht so erscheinen, als wären alle Linien auf dasselbe Blatt aufgetragen, sondern den Eindruck eines Körpers geben. Indessen ist hierbei allerdings der Einflufs der Augenbewegungen von Wichtigkeit, und nur bei momentaner Beleuchtung durch den elektrischen Funken fällt dieser ganz weg.

Ich bemerke noch, dafs ich auch solche Zeichnungen, welche stereoskopischen Glanz zeigen, bei der Beleuchtung durch den elektrischen Funken betrachtet habe, und dafs auch hierbei der Eindruck des Glanzes vollkommen zur Erscheinung kommt. Diese Thatsache ist wichtig, weil dadurch die Erklärung beseitigt wird, dafs der Glanz auf dem Wechsel der Beleuchtung und Färbung beruht, den der Wettstreit verursacht. Den Wechsel im Wettstreit bei nicht angestrengter Aufmerksamkeit habe ich nie schneller als in Perioden von etwa 8 Secunden, meist aber sehr viel langsamer vor sich gehen sehen. Wenn nun auch der Lichteindruck in der Netzhaut einen kleinen Bruchtheil einer Secunde dauert, so ist während dieser Zeit keine merkliche Änderung durch den Wettstreit der Sehfelder möglich. Man kann aber in dieser kurzen Zeit erkennen, dafs man die beiden verschiedenen Eindrücke beider Sehfelder gleichzeitig und in derselben Stelle des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes sieht.

Den Eindruck des Glanzes können übrigens auch monocular gesehene 785
Bilder und Objecte hervorbringen, zum Beispiel dadurch, dafs ihre Beleuchtung bei Bewegungen des Beobachters sich schnell verändert; dabei kommen die Elemente, aus denen sich der stereoskopische Glanz zusammensetzt, nicht gleichzeitig, aber schnell hinter einander zur Beobachtung. Ferner erscheinen bewegte Objecte glänzend, wenn die Beleuchtung ihrer einzelnen Theile schnell hinter einander sich verändert, wie es zum Beispiel bei einer bewegten Wasserfläche geschieht. Es genügt selbst, wenn nur die verschiedenartige Beleuchtung der Theile einer Fläche die bekannten Formen der Lichtreflexe unvollkommen spiegelnder Körper nachahmt. Wundt hat monocularen Glanz hervorgebracht, indem er ein dunkles Quadrat auf andersfarbigem dunklen Grunde durch eine unbelegte Glasplatte betrachtete, deren Vorderseite gleichzeitig ein helleres Quadrat auf hellerem Grunde spiegelte, so dafs die Spiegelbilder mit dem erstgenannten sich nahehin deckten. Der Glanz verschwand,

wenn das gespiegelte Quadrat scheinbar genau an demselben Orte sich befan wie das wirklich dort vorhandene, dann sah man nur die Mischfarbe. De Glanz kam aber zum Vorschein, wenn das gespiegelte scheinbar hinter de wirklichen lag. Lag es vor ihm, so schien eher das gespiegelte zu glänze Es wurde hierbei also die Anschauung hervorgebracht, als sähe man hint und durch das wirklich vorhandene Quadrat noch ein anderes, was dann a ein von ersterem entworfenes Spiegelbild erschien, und das gab den Ar schein des Glanzes. Diese Versuche zeigen besonders gut, dafs es hie nicht auf besondere Qualitäten der Färbung ankommt, sondern darauf, di Täuschung hervorzubringen, als reflectire eine gesehene Fläche noch ei anderes Bild.

Der Schein der Durchsichtigkeit tritt auch bei binocularer Deckun zweier verschiedenfarbiger Felder zuweilen ein, worauf Wundt aufmerksa machte. Bringt man zum Beispiel ein helles gelbes und dunkleres blaue Quadrat auf weifsem Grunde zu einer unvollständigen binocularen Deckung so erscheint das Blau da, wo man die Grenze des Gelb und Weifs von ih gedeckt sieht, durchsichtig. Dagegen fehlt dieser Schein, wo das Gelb di Grenze von Blau und Weifs deckt. Auf schwarzem Grunde erscheint dagege das Gelb durchsichtig. Das stärker mit dem Grunde contrastirende Fel erscheint überhaupt der Regel nach als das durchsichtige, entsprechend de objectiven Verhältnifs, wonach etwas, was durch ein durchscheinende Medium, dessen Substanz selbst deutlich wahrgenommen wird, gesehe wird, immer nur undeutlich gesehen wird, während die Grenzen diese Mediums, unbedeckt von einem anderem durchscheinenden Medium, sic der Regel nach scharf markiren werden.

Es sind schliefslich noch einige Erscheinungen zu besprechen, welch als Contrast zwischen den Empfindungen beider Augen auszulegen sin oder wenigstens ausgelegt werden können.

Zunächst hat namentlich Fechner darauf aufmerksam gemacht, wi aufserordentlich gut kleine Unterschiede der augenblicklichen Farben stimmung beider Augen, d. h. der Weise, in welcher die Augen di Farben empfinden, wahrgenommen werden, wenn man nach einem kleine hellen Objecte auf schwarzem Grunde sieht und dessen binoculares Bil
786 durch veränderte Augenstellung in Doppelbilder auseinander schiebt. Is das eine Auge zum Beispiel geschlossen gewesen und hat das andere währen der Zeit helle weifse Flächen angesehen, so erscheint unmittelbar hinterhe von den zwei Doppelbildern eines weifsen Streifens auf schwarzem Grund dasjenige, welches dem ermüdeten Auge angehört, dunkler und auch violette als das andere, welches dem vorher ausgeruhten Auge angehört. Hat ma dagegen mit dem freien Auge nach einer farbigen Fläche gesehen, so er scheint dessen Bild nachher in der Complementärfarbe, das andere de inducirenden Farbe gleichfarbig. Hierbei ist die Complementärfarbe in den ermüdeten Auge in der Vergleichung der beiden Doppelbilder sehr vie länger sichtbar, als wenn man beide Augen nach derselben farbigen Fläche

hat blicken lassen und in beiden daher die gleiche Farbenstimmung nachbleibt. So ist es zum Beispiel ohne dieses Hilfsmittel der Doppelbilder sehr schwer zu erkennen, dafs das Nachbild einer mäfsig erleuchteten weifsen Fläche eine bläuliche Färbung hat, während dieser Umstand in der Vergleichung mit dem Doppelbilde des ausgeruhten Auges, welches hell orangegelb erscheint, sogleich sichtbar wird. Ist der Unterschied der Helligkeit beider Bilder zu grofs, so kann man die Vergleichung sehr erleichtern, wenn man das des freien Auges entsprechend verdunkelt, indem man entweder durch eine feine Öffnung in einem schwarzen Papierblatte blickt, oder durch ein doppeltbrechendes Prisma, welches zwei Bilder des hellen Streifens, jedes von halber Helligkeit des directen Bildes zeigt, oder auch durch ein farbloses graues Brillenglas, von dessen Farblosigkeit man sich vorher überzeugt hat.

Es geht aus diesen Versuchen hervor, dafs die Vergleichung zwischen den Farbenempfindungen nahehin correspondirender Stellen beider Netzhäute mit grofser Genauigkeit geschehen kann, scheinbar sogar mit gröfserer Genauigkeit und viel längere Zeit hindurch, als dies der Fall ist, wenn die beiden Farben durch die entsprechenden Stellen einer Netzhaut verglichen werden sollen. Um nämlich die Farbe, in der die Netzhaut zum Beispiel Weifs empfindet, zu vergleichen mit der, in der es die nicht ermüdete thut, mufs man durch starres Fixiren eines weifsen Objects auf schwarzem Grunde ein scharf gezeichnetes Nachbild entwickeln und dies nachher auf gleichmäfsig weifsem Grunde betrachten. Abgesehen davon, dafs die Anstrengung des starren Fixirens ziemlich beträchtlich ist und vielleicht Einflufs auf den Verlauf des Processes hat, abgesehen ferner davon, dafs man den Vortheil nicht hat, das helle Bild beliebig verdunkeln zu können, so verschwinden die begrenzten Nachbilder auf einer Netzhaut auch bald für die Wahrnehmung, weil wir überhaupt gleichbleibende Helligkeits- oder Farbenunterschiede zwischen zwei verschiedenen Netzhautstellen, die durch Wechsel nicht aufgefrischt werden, schwer bemerken.

Wir haben in § 24 gesehen, dafs wir geneigt sind, deutlich wahrnehmbare Unterschiede der Helligkeit und Farbe für gröfser zu halten, als undeutlich wahrnehmbare, und dafs der gröfsere Theil der sogenannten Contrasterscheinungen hierauf zurückzuführen ist. Eine solche Contrastwirkung äufsert sich nun im vorliegenden Falle dadurch, dafs auch das unveränderte Bild sich im Gegensatze zu dem veränderten färbt, erhellt oder verdunkelt. So sieht das reine Weifs des unermüdeten Auges gelb aus, neben dem violetten Grau des durch Weifs ermüdeten, oder ersteres 787
grün, wenn das letztere durch das Nachbild von Grün rosaroth gefärbt ist u. s. f.

Statt das eine Doppelbild durch ein Nachbild zu färben, kann man es auch direct durch ein farbiges Glas färben, welches man vor das betreffende Auge bringt. Aber ich finde auch hier, was wir schon oben für die Contrasterscheinungen als charakteristisch fanden, dafs eine schwache Farbe eine viel

deutlichere Contrastwirkung hervorbringt, als eine sehr gesättigte. Grünlich Fensterglas oder gelbröthliches Bouteillenglas zeigt die complementäre Farl auf dem jenseitigen Doppelbilde viel deutlicher, als wenn man durch se tief gefärbtes Glas blickt, selbst wenn man im letzteren Falle das Bild d anderen Auges durch passende graue Gläser auf dieselbe Lichtstärke herunte bringt, als das farbige Bild.

Ja es ist sogar ein Contrast möglich zwischen solchen Farben, die a correspondirenden Stellen beider Netzhäute liegen. Man lege einen schwarz Streifen auf einen weifsen Grund, schiebe sein Bild zu Doppelbildern au einander und bringe dann vor das eine Auge ein blaues, vor das andere e graues Glas, welche beide ungefähr gleich dunkel sind. Man sieht dann d eine Bild des schwarzen Streifen umgeben von hervortretendem Blau, d andere von hervortretendem Weifs, während im übrigen Grunde Blau u Weifs mehr oder weniger gleichmäfsig über einander lagern. Dabei zei sich das Weifs, was längs der Contour des schwarzen Streifens hervortri entschieden gelblich. Nimmt man beide Gläser fort, so erscheint gelblich Weifs, wo vorher Blau vorherrschte, und bläuliches Weifs, wo wir es vorh gelblich sahen.

Vertauschen wir bei diesem Versuche die blaue Glasplatte mit ein gelben, so wechselt auch in den Bildern überall Gelb mit Blau.

Es mufs wohl als sehr auffallend betrachtet werden, dafs unter de Einflufs der Contouren des Schwarz unsere Aufmerksamkeit sich dem b nachbarten Weifs so ausschliefslich zuwendet und es von dem im gemei schaftlichen Gesichtsfelde überdeckenden Blau so vollständig trennt, d dieses Weifs sogar gelblich aussehen kann. Dies gelbliche Weifs ze übrigens auch darin seinen Charakter als Contrastfarbe, dafs es kurze Z stehen bleibt, selbst wenn wir das Auge hinter dem blauen Glase ga schliefsen. Auch bei den farbigen Schatten (S. 551 und 552) fanden wir, d das einmal über die Art der Farbe festgestellte Urtheil bestehen blieb, sell nachdem die contrastirende Farbe, deren Anwesenheit zu dem Irrthu verleitet hatte, aus dem Gesichtsfelde entfernt war.

In den bisherigen Versuchen fand der Contrast statt in der Vergleichu zweier Farben, welche den entgegengesetzten Gesichtsfeldern angehör Es kann nun aber auch die Wirkung monocularen Contrastes durch bino lare Vergleichung mit dem entgegengesetzten Contraste gesteigert werd Man lege rechts einen Bogen rosarothen, links einen Bogen grünen Papie so dafs beide in der Mitte an einander stofsen; ferner lege man nahe d Grenzlinie auf jede Seite einen Streifen weifsen Papiers. Betrachtet m diese beiden Streifen mit freien Augen, so ist in der Regel gar kei Contrastfärbung an den beiden Papierstreifen zu bemerken, wenn nicht sch starke Nachbilder der beiden Farben entwickelt sind. Blickt man mit ein
788 Auge durch eine schwarze Röhre nach einem dieser Streifen, während d andere Auge geschlossen ist, so bemerkt man allerdings eine schwac complementäre Contrastfärbung. Hält man aber zwei schwarze Röhren v

beide Augen, so dafs das rechte den einen Streifen mit einem Stück des rothen Grundes, das linke den anderen mit einem Stück des grünen Grundes sieht, ohne dafs man übrigens die Streifen binocular zum Decken bringt, so treten die complementären Färbungen der beiden Streifen in einer sonst kaum beobachteten Stärke auf. Die Wirkung nimmt an Stärke immer mehr zu, wenn man den Versuch längere Zeit fortsetzt, ohne den Blick auf einen bestimmten Punkt festzuheften. Dabei entstehen natürlich immer stärkere Nachbilder des Grundes, und da das rechte Auge nur rothen, das andere nur grünen Grund sieht, so kann bei allen Bewegungen des Auges sich im rechten Auge immer nur Grün, im linken immer nur Roth als Grund entwickeln und die Contrastwirkung nur verstärken.

Dies wäre nun ein successiver Contrast, einer der auf Nachbildern beruht. Wenn man zu Anfang des Versuchs schnell die Augen auf die weifsen Streifen hinwendet und sie möglichst schnell in der richtigen Lage fixirt, so sieht man ebenfalls, wenn auch viel schwächer die Contrastfarben. Indessen da unter den Umständen dieses Versuchs Nachbilder des Grundes durch die Vergleichung der Färbung in beiden Sehfeldern besonders leicht sichtbar werden, so hielt ich es für nöthig, eine Versuchsweise zu suchen, welche ganz sicher vor jeder Entstehung eines Nachbildes des Grundes schützte. Zu dem Ende befestigte ich auf einer Glasplatte zwei Papierstreifen, parallel zu einander in senkrechter Richtung, von denen der rechte oben schwarz und unten grau, der linke oben grau und unten schwarz war. Die Glastafel brachte ich über eine rechts mit rothem, links mit grünem Papier belegte Fläche, so dafs der rechte Papierstreifen über rothem, der linke über grünem Grunde lag. Vor dem Beginn des Versuchs schob ich aber weifses Papier zwischen die Glastafel und die farbige Fläche, so dafs die letztere ganz verdeckt war. Nun fixirte ich mit beiden Augen die grauschwarzen Streifen so, dafs sie sich deckten, wobei sowohl die obere als untere Hälfte des Bildes aus der Deckung einer schwarzen und einer grauen Streifenhälfte besteht. In der Mitte jedes Streifens hatte ich einen weifsen Punkt angebracht als Fixationspunkt. Indem ich die beiden weifsen Punkte binocular vereinigte, war ich im Stande, das gemeinsame Bild der grauschwarzen Streifen ganz sicher festzuhalten. Wenn ich nun das weifse Papier entfernte, so dafs die farbige Fläche dahinter zum Vorschein kam, so entstanden allerdings Spuren einer Contrastfärbung, die aber aufserordentlich schwach waren. Das Grau, welches auf grünem Grunde lag, schien röthlich, das auf rothem Grunde befindliche grünlich. Dagegen genügten wenige kurze Bewegungen des Blicks von rechts nach links und zurück, um die Contrastfarben gleich in voller Intensität zum Vorschein zu bringen. Die anfänglichen schwachen Contrastfärbungen waren schwächer, als sie beim monocularen Contrast zum Vorschein kommen. Noch schwächer war die Wirkung, wenn das Grau durch Weifs ersetzt wurde.

Die reinen Wirkungen des simultanen Contrastes auf den beiden grauen Streifen wurden also geschwächt durch die binoculare Vergleichung. Indem 789

das Grau des einen Sehfeldes dem des anderen binocular genähert wurde wurde eine genauere Vergleichung zwischen den beiden Grau möglich, al vorher im monocularen Felde, wo die beiden Streifen durch weite Strecke Grün und Roth von einander getrennt waren. In dieser Beziehung verhalte sich also die Erscheinungen des successiven Contrastes, welche auf eine Veränderung der Empfindung durch Nachbilder beruhen, ganz anders, al die des simultanen Contrastes, welche wir als Irrthümer des Urtheils auf gefafst haben. Erstere treten durch binoculare Vergleichung auffallende hervor, letztere werden im Gegentheil berichtigt.

Bei der bisher beschriebenen Form des Versuchs wurde eine binoculare Deckung der grauen Streifen mit farbigem Grunde vermieden, sie deckte sich vielmehr mit Schwarz. Nun kann man aber durch veränderte Conver genz der Augen ihre Bilder so weit aneinander schieben, dafs sie sich nich decken, sondern nur berühren. Bringt man sie in diese scheinbare Lage während zunächst noch der weifse Bogen darunter liegt, überzeugt sic dabei von dem gleichen Aussehen des Grau an beiden Streifen und nimm dann das weifse Papier fort, um den farbigen Grund sichtbar zu machen so erscheint der von Roth umgebene Streifen, der sich binocular mit Grü deckt, entschieden grün, der andere, der von Grün umgeben ist und sic mit Roth deckt, ebenso entschieden roth. Man erhält ganz frappant de Eindruck, als fände eine binoculare Mischung des Grau mit den beide Farben des Grundes statt. Schiebt man den weifsen Bogen wieder unte die Glasplatte, so schwinden augenblicklich die Färbungen, wie es bei eine Mischung der Farben des Grundes mit dem Grau sein müfste.

Aber ein anderer Versuch zeigt, dafs wir es hier nicht mit eine Mischung zu thun haben. Schliefse ich das rechte Auge, wenn ich di Streifen complementär gefärbt vor mir sehe, so bleibt nur der von Grü umgebene Streif sichtbar, und obgleich eine Art rothen Schleiers sich vo ihm zurückzieht, nämlich das ihn binocular deckende Roth, so bleibt sein Körperfarbe, das Grau, doch so röthlich, als es vorher war; das wäre nich möglich, wenn das röthliche Aussehen des Grau nur auf einer (binocularen Mischung mit Roth beruhte. So wie aus der Mischung das Roth fortfiele müfste sich die ursprüngliche Farbe herstellen und eher durch den Contras grünlich werden. Ich glaube vielmehr, dafs der Erfolg dieser Versuche s zu erklären ist: Wir haben vorher gesehen, dafs wenn in beiden Sehfelder Grau enthalten ist und sich beides binocular mit Schwarz deckt, wir de Farbenton der beiden Grau sehr genau vergleichen können, und dafs durc diese unmittelbare Vergleichung der beiden Grau Wirkungen monoculare Contrastes, die uns geneigt machen könnten, die beiden Grau für verschieden artig zu halten, geschwächt werden. In dem letztbeschriebenen Versuch dagegen deckt sich Grau, welches von Roth umgeben ist, und welches wi deshalb geneigt sind, für grünlich zu halten, binocular mit Grün, und da andere durch Contrast mit der grünen Umgebung röthlich gefärbte Gra deckt sich binocular mit Roth. Hier kann diese binoculare Deckung de

beiden Flächen, welche zu vergleichen sind mit zwei verschiedenen und lebhaften Farben die Vergleichung sehr unsicher machen und daher den Contrast verstärken. 790

Schiebt man nachher eine weifse Fläche unter, an der die Augen ihr Urtheil über das Weifs wieder berichtigen können, so schwindet augenblicklich der Contrast. Auch wenn eine schwarze untergeschoben wird, so ist sogleich eine genaue und ungefälschte Vergleichung der beiden grauen Streifen möglich, welche den Contrast derselben schwinden macht. Wenn man dagegen nur ein Auge schliefst, so treten keine Momente ein, die das Urtheil berichtigen könnten, und der Contrast bleibt bestehen.

Wir können das Resultnt der bisher beschriebenen Versuche dahin zusammenfassen: Wenn im binocularen Felde das rechte Auge das Bild α, das linke das Bild β dicht neben einander erblickt und α sich mit dem Grunde b, β mit dem Grunde a deckt, so ist die Vergleichung der objectiven oder durch Nachbilder veränderten Färbung von α und β sehr genau, so oft der Grund a dieselbe Färbung wie b hat; sie ist dagegen sehr unsicher, so oft a und b verschiedene Farbe oder Beleuchtung haben. Ersteres zerstört monoculare Simultancontraste, letzteres begünstigt sie.

Bei einigen anderen Versuchen über binocularen Contrast kommt, wie bei vielen des monocularen Contrastes, in Betracht, dafs wir die objectiven Farben der Körper von der Farbe einer weit verbreiteten Beleuchtung zu trennen geübt sind.

Dahin gehört zunächst Fechner's[1] sogenannter paradoxer Versuch. Man blicke nach einer weifsen Fläche, schliefse und öffne abwechselnd das rechte Auge, so wird man finden, dafs im Moment des Schlusses die weifse Fläche, welche nun nur noch vom linken Auge gesehen wird, ein wenig dunkler erscheint, als während der Öffnung beider Augen. Der Ausschlufs des Lichtes von dem einen Auge bringt also, wie man erwarten mufste, eine Verdunkelung des Bildes hervor, freilich eine verhältnifsmäfsig aufserordentlich schwache, für manche Augen kaum wahrnehmbare. Nun ändere man die Bedingungen des Versuchs dadurch ab, dafs man vor das rechte Auge ein ziemlich stark verdunkelndes graues Glas nimmt. Wenn man jetzt das rechte Auge öffnet, erscheint die weifse Fläche im Gegentheil dunkler; wenn man es schliefst, heller. Also wenn mehr Licht in die Augen fällt, haben wir scheinbare Verdunkelung, wenn weniger, Erhellung. Nimmt man immer hellere graue Gläser, so schwindet dieser negative Erfolg und geht endlich in den positiven über, den die freien Augen zeigen, nämlich Öffnung des geschlossenen Auges giebt Erhellung. Geht man im Gegentheil zu sehr dunkeln Gläsern über, so kommt man zuletzt an eine Grenze, wo es einerlei bleibt, ob das Auge hinter dem Glase offen oder geschlossen ist, indem das einfallende Licht keine in Betracht kommende Wirkung mehr ausübt. Eine mittlere Verdunkelung der Gläser giebt also ein Maximum des Erfolgs.

[1] Fechner, *Abhandl. d. Sächs. Ges. d. Wiss.* VII, 416—463.

Fechner selbst brauchte dazu Gläser, die zwischen 0,03 und 0,05 des einfallenden Lichts durchliefsen. Statt der grauen Gläser kann sehr zweckmäfsig Aubert's oben (S. 417) beschriebener Episkotister angewendet werden.

791 Dafs die Bewegung der Pupille hierbei ohne Einflufs ist, wurde controlirt, indem der Beobachter mit dem freien Auge durch eine enge Öffnung von geringerem Durchmesser als die Pupille blickte. Man kann auch überhaupt bei diesen Versuchen enge Öffnungen in schwarzen Papierblättern statt der dunklen Gläser, zur Verdunkelung des Bildes anwenden.

Der Erfolg dieses paradoxen Versuchs könnte so ausgelegt werden, als wenn die Lichtempfindung in dem einen Auge unter Umständen die im anderen Auge herabsetzte, als wenn also ein antagonistisches Verhältnifs zwischen beiden Netzhäuten bestände; aber eine leichte Modification des Versuchs beweist, wie ich gefunden habe, dafs es sich hier um ganz etwas anderes handelt.

Man stelle sich so auf, dafs man vor sich im Gesichtsfelde einen wohl begrenzten und contourirten weifsen Gegenstand hat, z. B. eine weifse, den Fenstern gegenüber gelegene Thür, und wähle ein dunkles Glas, mit dem der paradoxe Versuch gut gelingt, wenn man nach dieser Thür hinblickt. Dann schiebe man zwischen die Thür und das von dem dunklen Glase bedeckte Auge nahe vor diesem ein weifses Blatt Papier so ein, dafs es diesem Auge die Thür verdeckt und das ganze Gesichtsfeld dieses Auges einnimmt. Indem man das Blatt mehr oder weniger schräg gegen das Licht wendet, wird man ihm leicht eine solche Beleuchtung geben können, bei der es eben so hell ist, wie die dahinter liegende Thür. Jetzt wiederhole man den Versuch, er wird den umgekehrten Erfolg geben, wie vorher. Öffnung des geschlossenen Auges hinter dem dunklen Glase und dem Papier läfst die Thür ganz wenig heller werden, indem sich eine Art lichten Nebels über sie ergiefst: das ist nämlich das binocular deckende Bild des weifsen Papiers. Nachdem man dies constatirt hat, ziehe man nun das weifse Blatt fort, während beide Augen geöffnet sind, so dafs man mit beiden Augen die Thür sieht. Jetzt erscheint die Thür beträchtlich verdunkelt, obgleich die Helligkeit jener Stellen der beiden Sehfelder, in denen sie erscheint, ganz unverändert geblieben ist.[1]

Diese Änderung des Versuchs zeigt, dafs es sich hierbei nicht um eine Änderung in der Empfindung des Lichts, sondern nur um eine Änderung unseres Urtheils über die Körperfarbe des weifsen Objects handelt. Ist das eine Gesichtsfeld ausgefüllt mit Dunkel (bei geschlossenem Auge) oder mit gleichmäfsig vertheiltem schwachen Lichte (Bild des weifsen Papiers durch das dunkle Glas gesehen), so rechnen wir diese gleichmäfsig und weit über die Grenzen des der Thür entsprechenden Gesichtsfeldes ausgedehnte Beleuchtung nicht der Körperfarbe der Thür zu, sondern bilden uns unser Urtheil über diese Farbe ganz allein nach der Aussage desjenigen Auges,

[1] Dafs es bei diesem Versuch darauf ankommt, ob man begrenzte oder unbegrenzte Flächen mit dem verdunkelten Auge sieht, hat auch Herr Hering beobachtet. (*Beiträge zur Physiologie*. S. 311—312.)

welches die Umrisse der Thür erkennt. Höchstens erscheinen die Abänderungen der Beleuchtung im anderen Auge als ein dunkler oder heller Nebel, der sich vor die Thür und die übrigen Gegenstände hinlegt. Wenn wir aber mit dem verdunkelten Auge ebenfalls die Umrisse der Thür erkennen und diese in dunklem Grau erblicken, so erscheint uns dieses Grau der Körperfarbe der Thür eben so angehörig, wie das Weifs des *792*
entgegengesetzten Auges, und die Thür selbst erscheint uns deshalb verdunkelt. Sie erscheint dann wie ein grauer, mit weifsem Licht erhellter und glänzender Körper. Natürlich aber mufs diese Verdunkelung ausbleiben, wenn entweder die Verdunkelung durch das Glas sehr gering ist und sich daher das im zweiten Auge hinzukommende Licht nur als Licht merklich macht, oder wenn im Gegentheil die Verdunkelung so grofs ist, dafs die Objecte kaum noch erkannt werden können.

Ähnliche Verhältnisse kommen auch monocular vor bei dem von Smith und Brücke[1] angegebenen Versuche, den Fechner den seitlichen Fensterversuch nennt. Man kann diesem Versuche eine andere Form geben, wie ich gefunden habe, bei der sich die Bedingungen des Erfolges noch sicherer übersehen lassen, als bei jener ersten Form. Ich habe eine planparallele Platte Uranglas in zwei Hälften theilen lassen. Dieses Glas sieht im Kerzenlicht ganz ungefärbt aus, weil es nur die violetten und einen Theil der blauen Strahlen absorbirt, deren Menge im Kerzenlicht sehr unbedeutend ist; bei Tage, wenn die Substanz des Glases selbst nicht stark erleuchtet ist, erscheinen weifse Gegenstände durch das Glas schwach gelblich. Wird die Masse des Glases selbst aber durch directes Sonnenlicht getroffen, so geht intensiv grünes Fluorescenzlicht von allen seinen Theilen aus. Wenn ich vor jedes Auge eine solche Platte Uranglas nehme, beide so beschattet, dafs nur das von dem Objecte kommende Licht sie trifft, und das Bild eines weifsen Feldes auf schwarzem Grunde in ein Doppelbild aus einander treibe, so erscheinen natürlich beide Bilder des weifsen Feldes in gleicher gelblich weifser Farbe. Wenn ich nun aber das eine Glasstück von directen Sonnenstrahlen treffen lasse, so füllt sich das Sehfeld des dahinter stehenden Auges mit dem grünen Lichte der Fluorescenz, und nun sieht nach wenigen Bewegungen des Auges das zugehörige Doppelbild des Weifs, welches noch dazu mit grünem Licht übergossen ist, rosaroth aus, während das Doppelbild des anderen Auges heller und grünlich erscheint, obgleich es objectiv ein weifs ist. Wir haben also hier in dem Auge, welches durch das fluorescirende Glas sieht und dessen Grund deshalb gleichmäfsig mit schwachem grünen Lichte bestrahlt wird, eine so vollständige Trennung des begrenzten Weifs von dem unbegrenzt ausgegossenen Grün, dafs an jenem Weifs sogar die rosenrothe Färbung zum Vorschein kommt, welche durch die Ermüdung des Auges gegen Grün bedingt wird. Im Contrast dazu erscheint dann das andere nicht grüne Bild grünlich.

---

[1] S. oben S. 562—563.

Bei dem ursprünglichen Versuche von SMITH war es, wie wir obe gesehen haben, das rothe durch die Augenhäute eingedrungene Licht, welche das gleichseitige Bild dunkler und blaugrün, das andere roth erscheine läfst. Dieses rothe Licht kann sichtbar gemacht werden, wenn man mit dei seitlich beleuchteten Auge schwarze Buchstaben auf weifsem Grunde betrachtet diese sehen hierbei oft leuchtend roth aus. Natürlich erscheint dann auc das dem seitlich beleuchteten Auge angehörige Halbbild eines in Doppel bilder aus einander geschobenen schwarzen Flecks auf weifsem Grund röthlic
793 in Vergleich mit dem des anderen Auges. Concentrirt man dagegen durc eine Linse grünes oder blaues Licht auf einen Punkt der Sclerotica, so is das weifse Bild in diesem Auge rosenroth oder gelb. Da die Erklärun dieses Versuches bezweifelt worden ist,[1] so ist die Modification desselbe mit den Uranglasplatten, wobei alle concurrirenden Umstände deutlicher z übersehen sind, wohl überzeugender.

Die Erscheinungen des binocularen Contrastes erklären sich also vo dem von uns eingehaltenen Standpunkte leicht. Fafst man dagegen, wie e früher meist geschah, die Contrastfarben als Veränderungen der Empfindun auf, welche durch die Reizung einer Netzhautstelle in den benachbarte hervorgerufen werden, so folgt auch für den binocularen Contrast mit Noth wendigkeit, dafs er durch Einwirkung der Empfindungen der einen Netzhau auf die der anderen entstehe, und man hat deshalb hierin mit einen Grun für die angeborene anatomische Verbindung correspondirender Nervenfaser gesucht.

Es ist hier noch die von DOVE, dem Entdecker des stereoskopischen Glanzes aufgestellte Erklärung dieses Erscheinung zu erwähnen. DOVE unterscheidet a glänzenden Körpern das von der Oberfläche reflectirte weifse und das aus de oberflächlichen Schichten der Substanz hervordringende gefärbte Licht. Glan entsteht nach ihm dadurch, dafs man die beleuchtete Körpersubstanz hinter de beleuchteten Oberfläche sehe, also zwei Arten von Licht, das eine durch das ander durchscheinend. Er glaubt nun, dafs, wenn wir zwei Farben, z. B. Roth im einen Blau im anderen Felde combiniren, wir auf verschiedene Entfernung derselben vom Auge schliefsen, weil wir verschiedene Accommodation anwenden müssen, um si scharf zu sehen. Ich habe diese Erklärung nicht beibehalten, weil die seit Auf stellung derselben angestellten Versuche über Beurtheilung der Entfernung mittel der Accommodation, namentlich in einem Falle, wo, wie hier, die Convergenz de Augen constant erhalten werden mufs, es mir höchst unwahrscheinlich machen, daf eine solche Wahrnehmung scheinbar verschiedener Entfernung der Farben möglicl sei. Aufserdem tritt die Schwierigkeit ein, dafs Weifs und Schwarz zusamme combinirt auch Glanz geben. Hierbei glaubt DOVE nun annehmen zu dürfen, dafs weil Weifs die Pupille zusammenziehen macht, was ebenfalls bei stärkerer Accommodationsanstrengung geschieht, Schwarz sie aber erweitert, die Betrachtung von Weifs und Schwarz verschiedene Accommodationsgefühle gebe. Dagegen ist zu bemerken, dafs bei den vorliegenden Versuchen gleichzeitig ein Auge Weifs, das andere

---

[1] FECHNER über den seitlichen Fenster- und Kerzenversuch. *Berichte der Kön. Sächsischen Ges. d. Wiss.* 1861. S. 27—56.

Schwarz sieht und beide Pupillen dabei dieselbe mittlere Weite einnehmen, zweitens, dafs alle Accommodation sich nicht auf die Mitte einer gleichfarbigen Fläche, sondern nur auf ihre Contoure beziehen kann, und nicht einzusehen ist, wie daraus ein Unterschied des Accommodationsgefühls entstehen könne, dafs im einen Bilde Weifs rechts, Schwarz links von der Grenze, oder Weifs über, Schwarz unter der Grenze liegt, im anderen umgekehrt. Ich habe deshalb die oben gegebene Erklärung als die einfachere der ursprünglichen des berühmten Entdeckers dieser Erscheinung zu substituiren mir erlaubt.

Geschichtliches. Der Wettstreit der Sehfelder erregte schon früh die Aufmerksamkeit der Beobachter. du Tour benutzte ihn schon, um seine Meinung, dafs der Regel nach nur ein Auge auf einmal sehe, und wir deshalb die Objecte einfach sähen trotz der Anwesenheit zweier Augen, zu unterstützen. Haldat wollte dagegen Mischung der Farben gesehen haben, was er mit der von Newton und später von Wollaston und J. Müller angenommenen Hypothese von der anatomischen Vereinigung correspondirender 794 Sehnervenfasern in Zusammenhang brachte. Ihm schlossen sich an Mönnich, Janin, Walther; während J. Müller selbst, der die Lehre der Identität der Netzhautstellen und ihrer Consequenzen hauptsächlich ausgebildet hat und der gewifs am meisten dabei interessirt gewesen wäre, eine binoculare Farbenmischung zu sehen, keine solche erwähnt, sondern nur den Wettstreit gesehen hat. Wie auch die späteren Beobachter verschieden geurtheilt haben, ist oben schon erwähnt. Es scheinen in dieser Beziehung sehr grofse individuelle Unterschiede zu bestehen. So lange man die Empfindung einer Mischfarbe als eine einfache Wirkung zweier combinirter Ursachen ansah, schien eine solche Empfindung nur in einer und derselben Nervenfaser zu Stande kommen zu können, und die Beobachtung wirklicher binocularer Farbenmischung schien deshalb den Beweis der anatomischen Verschmelzung je zweier correspondirender Fasern liefern zu können, und mufste andererseits bei Annahme einer solchen Hypothese auch nothwendig erwartet werden. Der Young'schen Farbentheorie gegenüber verliert freilich dieser Punkt sehr an Wichtigkeit, wie schon oben hervorgehoben ist.

Ein wesentlicher Fortschritt war die Entdeckung der objectiven Bedeutung der binocularen Vereinigung verschiedener Farben oder Helligkeiten in dem Phänomen des stereoskopischen Glanzes durch Dove. Der oben besprochenen Theorie dieses Phänomens, der sich auch Brewster anschlofs (dabei, wie es scheint durch ein Mifsverständnifs, Dove's eigene Theorie bekämpfend), stellte später zuerst J. J. Oppel die oben vorgetragene einfachere entgegen. Ohne von diesem zu wissen, kam ich selbst auf dieselbe Ansicht der Sache uud hob die Wichtigkeit des Phänomens für die Theorie der Empfindungen correspondirender Stellen hervor.

Die Phänomene des binocularen Contrastes wurden erst in den letzten Jahren studirt, namentlich durch Fechner in einer sehr ausgedehnten Arbeit; einzelne dahin gehörige Beobachtungen waren schon früher von E. Brücke, H. Meyer, Panum gemacht worden.

§ 33. Kritik der Theorien.

Nachdem ich die Übersicht der Thatsachen, die sich bei der Untersuchung der Gesichtswahrnehmungen ergeben, beendigt habe, wird es nützlich sein, noch einmal einen Rückblick auf den Zusammenhang der theoretischen Vorstellungen zu werfen und zu prüfen, welche den Thatsachen gegenüber als zulässig, welche als unzulässig oder unwahrscheinlich erscheinen. 796

Es ist dabei von vorn herein zu bemerken, dafs unsere Kenntnifs der hierher gehörigen Erscheinungen noch nicht so vollständig ist, um nur eine Theorie zu erlauben und jede andere auszuschliefsen. Bei der Wahl zwischen

den verschiedenen theoretischen Ansichten scheint mir unter diesen Un ständen bisher mehr eine Neigung zu gewissen metaphysischen Betrachtung weisen, als der Zwang der Thatsachen, ihren Einflufs auf die verschiedene Forscher ausgeübt zu haben, namentlich da in dem psychologischen Gebie noch principielle Fragen hinzukommen, die in dem Bereiche der unorganische Naturerscheinungen längst vollständig beseitigt sind.

Manche Naturforscher sind in der Lehre von den Gesichtswahrnehmunge wie mir scheint, allzu bereit gewesen, allerlei anatomische Structuren z supponiren oder auch neue Qualitäten der Nervensubstanz vorauszusetze welche nicht die geringste Ähnlichkeit mit dem haben, was wir sonst v den physikalischen und chemischen Eigenschaften der Naturkörper im Al gemeinen oder den Nerven im Besonderen bestimmt wissen, Structuren u Eigenschaften, welche nur dazu dienen, für ein oder einige wenige Phän mene des Sehens Erklärungen herzustellen, die wenigstens den äufser Anschein naturwissenschaftlicher Erklärungen haben sollten, und bei dene die ganz unzweifelhafte Einmischung psychischer Phänomene entweder ga geleugnet oder als relativ unwichtig hingestellt wurde.

Ich gebe zu, dafs wir noch weit entfernt von einem naturwissenschaf lichen Verständnifs der psychischen Erscheinungen sind. Die Möglichke eines solchen Verständnisses entweder absolut zu leugnen, wie die Spiritu listen, oder andererseits absolut zu behaupten, wie die Materialisten, da kann wohl die Neigung zu dieser oder jener Richtung der Speculation treibe dem Naturforscher, der sich an die factischen Verhältnisse zu halten u deren Gesetze zu suchen hat, ist dies eine Frage, für welche er kei Entscheidungsgründe besitzt. Man mufs nicht vergessen, dafs der Materi lismus ebenso gut eine metaphysische Speculation oder Hypothese ist, w der Spiritualismus, und ihm deshalb nicht das Recht einräumen, in d Naturwissenschaft über factische Verhältnisse oder factische Grundlage en scheiden zu wollen.

Welche Ansicht man aber auch von den psychischen Thätigkeiten habe und welche Schwierigkeit ihre Erklärung auch bieten mag, so sind sie jede falls factisch vorhanden und ihre Gesetze sind uns bis zu einer gewisse Grenze wohlbekannt aus der täglichen Erfahrung. Ich für mein Theil hal
797 es für sicherer, die Erklärung der Erscheinungen des Sehens anzuknüpfe an andere, freilich selbst noch weiterer Erklärung bedürftige, aber do jedenfalls vorhandene und thatsächlich wirksame Vorgänge, wie es die ei facheren psychischen Thätigkeiten sind, als sie auf ganz unbekannte, n *ad hoc* erfundene, durch keinerlei Analogie gestützte Hypothesen über d Einrichtung des Nervensystems und die Eigenschaften der Nervensubsta zu gründen. Zu dem letzteren Schritte würde ich mich erst berechtig glauben, wenn alle Versuche der Erklärung aus bekannten Verhältnisse gescheitert sein sollten.

Das letztere ist nun meines Erachtens aber bei der psychologische Erklärung der Gesichtswahrnehmungen keineswegs der Fall; im Gegenthe

je aufmerksamer ich die Erscheinungen studirt habe, desto gleichmäfsiger und übereinstimmender hat sich überall die Einwirkung der psychischen Vorgänge gezeigt, und desto consequenter und zusammenhängender stellte sich mir dieses ganze Gebiet von Erscheinungen dar.

Ich habe deshalb keinen Anstand genommen, in den vorausgehenden Paragraphen die Thatsachen durch Erklärungen, die wesentlich auf die einfacheren psychischen Vorgänge der Ideenassociation gestützt sind, in Verbindung und in Zusammenhang zu setzen. Dafs eine solche Ansicht nicht neu ist, habe ich in den geschichtlichen Übersichten schon erwähnt. Wenn in der jüngsten Zeit die Ansichten einzelner Physiker und Physiologen, die diese Richtung einschlugen, wie WHEATSTONE, VOLKMANN, H. MEYER, NAGEL, CLASSEN, WUNDT, mehr Opposition als Anerkennung fanden, so glaube ich, dafs dies, abgesehen von der Abneigung unseres Zeitalters gegen philosophische und psychologische Untersuchungen, davon herrührt, dafs es an einer zusammenhängenden Darstellung aller Erscheinungen dieses Gebietes fehlte, und deshalb von Seiten der unerledigten Erscheinungsgebiete immer wieder Zweifel aufstiegen gegen diejenigen, welche von den genannten Forschern bearbeitet waren. Ich habe deshalb die vorliegende Gelegenheit benutzt, um das ganze Gebiet nach dieser Richtung hin durchzuarbeiten und eine Übersicht davon zu geben.

Ich erlaube mir einen kurzen Überblick der zur Erklärung von mir benutzten Principien zu geben. Der Hauptsatz der empiristischen Ansicht ist: Die Sinnesempfindungen sind für unser Bewufstsein Zeichen, deren Bedeutung verstehen zu lernen unserem Verstande überlassen ist. Was die für den Gesichtssinn erhaltenen Zeichen betrifft, so sind sie verschieden nach Intensität und Qualität, das heifst nach Helligkeit und Farbe, und aufserdem mufs noch eine Verschiedenheit derselben bestehen, welche abhängig ist von der Stelle der gereizten Netzhaut, ein sogenanntes Localzeichen. Die Localzeichen der Empfindungen des rechten Auges sind durchgängig von denen des linken verschieden.

Wir fühlen aufserdem den Grad der Innervation, die wir den Augenmuskelnerven zufliefsen lassen. Die Anschauung der Raumverhältnisse und der Bewegung sind nicht nothwendig aus den Gesichtswahrnehmungen, oder wenigstens nicht aus diesen allein, herzuleiten, da sie bei Blindgeborenen ganz genau und vollständig auch unter Vermittelung des Tastsinnes gewonnen werden, sie können also für unseren Zweck als gegeben vorausgesetzt werden.

Durch Erfahrung können wir offenbar lernen, welche anderen Empfin- 798
dungen des Gesichts oder der anderen Sinne ein Object, welches wir sehen, uns machen wird, wenn wir die Augen oder unsern Körper fortbewegen und dieses Object von verschiedenen Seiten betrachten, betasten u. s. w. Der Inbegriff aller dieser möglichen Empfindungen in eine Gesammtvorstellung zusammengefafst, ist unsere Vorstellung von dem Körper, welche wir Wahrnehmung nennen, so lange sie durch gegenwärtige Empfindungen

unterstützt ist, Erinnerungsbild, wenn sie das nicht ist. In gewisse Sinne also, obgleich dem gewöhnlichen Sprachgebrauche widersprechend, i auch eine solche Vorstellung von einem individuellen Objecte schon e Begriff, weil sie alle die möglichen einzelnen Empfindungsaggregate umfaſs welche dieses Object, von verschiedenen Seiten betrachtet, berührt od sonst untersucht, in uns hervorrufen kann. Das ist der thatsächliche u reelle Inhalt einer solchen Vorstellung von einem bestimmten Objecte; eine anderen hat sie nicht, und dieser Inhalt kann ohne Zweifel unter Vorau setzung der oben genannten Data durch Erfahrung gewonnen werden.

Die einzige psychische Thätigkeit, die dazu gefordert wird, ist d gesetzmäſsig wiederkehrende Association zweier Vorstellungen, die schon o mit einander verbunden gewesen sind, welche Association desto fester u zwingender wird, je öfter die Wiederholung stattgefunden hat.

So weit also unsere durch Gesichtsbilder vermittelten Vorstellungen v den Objecten richtig sind, erklären sie sich einfach aus den vorangestellt Principien. Es fragt sich nun aber, wie ist es möglich, daſs Sinne täuschungen vorkommen. Unter diesen müssen wir zwei Klassen unte scheiden. Erstens solche, bei denen die äuſseren Umstände, unter den die Einwirkung auf unsere Sinne geschieht, ungewöhnliche sind, wie bei d Betrachtung der optischen Bilder von Spiegeln, Linsen oder bei der Comb nation stereoskopischer Darstellungen. Hier wird der Eindruck, den b stimmte Objecte machen, unter ungewöhnlichen Bedingungen erzeug Obgleich wir dies wissen, ruft der Eindruck nach dem Gesetze der Vo stellungsassociationen doch die Vorstellung der der Regel nach mit ihm ve bunden gewesenen anderen Sinneseindrücke, das heiſst die Vorstellung d betreffenden Objects hervor.

Die zweite Klasse von Sinnestäuschungen ist diejenige, wobei wir wir liche Objecte bei ungewöhnlichem Gebrauche unserer Sinnesorgane fals sehen. Zu ihrer Erklärung ist zu beachten, daſs, sobald eine bestimm Art des Gebrauchs unserer Sinneswerkzeuge geeignet ist, uns deutliche und sicherere Wahrnehmungen der Objecte zu geben, als jede andere, w jene, die wir deshalb die normale genannt haben, möglichst viel oder au schlieſslich anzuwenden uns einüben. Brauchen wir dann unsere Sinne organe in abweichender Weise, so rufen die gewonnenen Eindrücke u naturgemäſs die Vorstellungen solcher Objecte hervor, welche beim normal Gebrauche der Organe dieselben oder möglichst ähnliche Eindrücke gegeb haben würden.

Beim normalen Gebrauche der Augen kommt in Betracht, ersten daſs in jedem Auge die Centralgrube der Netzhaut die deutlichste Unte scheidung nahe neben einander gelegener Bilder zuläſst, zweitens, da
799 wir deutliche Eindrücke nur behalten, wenn wir durch fortwährende Auge bewegungen die Ausbildung scharf gezeichneter Nachbilder vermeiden, dritten daſs wir an einer ausgedehnten Fläche von gleichmäſsiger Beleuchtung all deutlich gesehen haben, was an ihr deutlich zu sehen ist, wenn wir al

Theile ihres Umfangs deutlich gesehen haben. Daraus ergiebt sich, dafs wir beim normalen Gebrauche der Augen beide Blicklinien auf den Punkt richten, der gerade unsere Aufmerksamkeit in Anspruch nimmt, und die Augen für ihn accommodiren, dieselben aber niemals längere Zeit unbewegt lassen, was auch dem eigenthümlichen Bewegungstriebe unserer Aufmerksamkeit nicht entsprechen würde, vielmehr den Blick namentlich an den Contouren der gesehenen Objecte entlang laufen lassen.

Daraus folgt die gewohnheitsmäfsige Verbindung der Bewegungen beider Augen miteinander und mit der Accommodation; eine Gewohnheit, gegen die so schwer anzukämpfen ist und die doch jeden Augenblick durch willkürliche Anstrengung überwunden werden kann, wie oben gezeigt wurde, wenn man die Augen allmälig unter Bedingungen bringt, wo nur mittels ungewöhnlicher Verbindungen die Zwecke des Sehens erreicht werden können. Daraus folgt ferner die Schwierigkeit, den Blick längere Zeit gegen die eingeübte Gewohnheit auf einem Punkte festzuhalten, daraus der grofse Einflufs hervortretender Contouren auf unsere Aufmerksamkeit und auf die Bewegung unseres Blicks; daraus auch weiter, dafs unsere Aufmerksamkeit so schwer zu einer genaueren Analyse der Erscheinungen des indirecten Sehens, des blinden Flecks, der Doppelbilder und so weiter, festzuhalten ist, indem wir gewohnheitsmäfsig sogleich unseren Blick auf die die Aufmerksamkeit beschäftigenden Stellen hinzuwenden streben. Daher wir denn auch hauptsächlich wegen der gewohnheitsmäfsig eintretenden Augenbewegungen selbst die stärker auseinander weichenden Doppelbilder der vor uns befindlichen Gegenstände nicht zu sehen pflegen und sie eben defshalb vielen, selbst erwachsenen Leuten unbekannt bleiben.

Dafs die Verbindung zwischen der Raddrehung jedes einzelnen Auges und der Richtung der Gesichtslinie unter dieselbe Kategorie fällt, dafs sie unter abgeänderten Bedingungen des Sehens zu Gunsten der optischen Zwecke selbst abgeändert werden kann, habe ich oben gezeigt und versucht die Sicherheit der Orientirung, vermöge deren wir die unveränderte Lage ruhender Gegenstände trotz der Verschiebungen ihres Bildes auf der Netzhaut erkennen, als denjenigen Zweck nachzuweisen, der durch die Erfüllung des LISTING'schen Gesetzes für unsere Augenbewegungen so weit als möglich erreicht wird.

Da nachweisbar zu Gunsten von optischen Zwecken von allen diesen Gesetzen der Augenbewegungen Ausnahmen unter dem Einflusse willkürlicher Anstrengung eintreten können, so können diese Gesetze nicht auf mechanisch wirkende anatomische Einrichtungen begründet sein; andererseits halte ich es nicht für unmöglich, sondern sogar für wahrscheinlich, dafs das Wachsthum der Muskeln und vielleicht selbst die Leitungsfähigkeit der Nervenbahnen sich den Forderungen, die an sie gemacht werden, im Laufe des individuellen Lebens und vielleicht selbst durch Vererbung im Laufe des Lebens der Gattung so anpafst, dafs die geforderten zweckmäfsigsten Bewegungen auch die leichtesten werden. Jedenfalls ist dieser anatomische *800*

Mechanismus, so weit ein solcher besteht, nur erleichternd, nicl zwingend.

Mittels der Augenbewegungen ist es ferner möglich, die Ordnung d gesehenen Punkte im Gesichtsfelde kennen zu lernen, das heifst, zu lerne welche Localzeichen der Empfindungen den einander unmittelbar benacl barten Punkten entsprechen. Das specielle Gesetz der Augenbewegunge bestimmt dann weiter, welche Raumgröfsen des Gesichtsfeldes ihrer Gröf nach genau mit einander verglichen werden können, welche nicht. Gen verglichen werden diejenigen, deren Bild durch blofse Bewegung des Aug auf denselben Punkten oder Linien der Netzhaut abgebildet werden kan eine Regel, welche durch die Thatsachen durchaus bestätigt wird. Dagege finden sich bei der Vergleichung solcher Raumgröfsen, die nicht auf de selben Netzhauttheilen abgebildet werden können, theils constante, thei inconstante Fehler. Die constanten Fehler lassen sich zum Theil dara zurückführen, dafs wir (wenigstens als Kinder, während der Ausbildu unseres Auges) als häufigstes Gesichtsobject entferntere Gegenstände und d bis zu ihnen hin sich erstreckenden Fufsboden vor Augen haben. Ich erinne an die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane und an die falsc Zeichnung der Quadrate.

Endlich zeigt sich der Einflufs des Gesetzes der Augenbewegunge auch in der Führung der scheinbar geraden (oder kürzesten) Linien d Gesichtsfeldes. Verlegen wir die Blicklinie in ihre Primärlage, welche w als ihre häufigste und wichtigste Stellung betrachten dürfen, so sind es di jenigen Linien, die nach dem Gesetze der Augenbewegungen sich in si selbst verschieben können.

Ich habe die Ableitung dieser Gesetze auf gar keine bestimmte A nahme über die Art der Localzeichen begründet. Sie würde passen, au wenn diese Zeichen ganz willkürlich über die Netzhaut ausgewürfelt wäre ohne dafs irgend welche Ähnlichkeit der Localzeichen benachbarter Punk vorausgesetzt würde. Es würde dadurch allerdings die Schwierigkeit d Einübung beträchtlich erhöht werden. Ich halte es dagegen nicht f unwahrscheinlich und der Analogie anderer organischer Einrichtungen gemäf dafs die Localzeichen benachbarter Punkte einander ähnlicher seien, als d entfernter Punkte, und dafs somit die Art des Localzeichens eine continu liche Function der Coordinaten der Netzhautpunkte sei. Indessen wie au dieses System der Localzeichen, von welcher Art sie selbst sein mögen, kann ihre besondere Einrichtung die Orientirung wohl erleichtern; aber au hier fordern die Consequenzen der empiristischen Theorie, mit denen d Erscheinungen durchaus übereinstimmen, dafs jede solche Einrichtung n erleichternd für die Einübung des Augenmaafses, nicht entscheidend für sei definitiven Resultate sei.

Zu diesen anatomischen Einrichtungen gehört dann auch die Zahl d empfindlichen Elemente zwischen je zwei Netzhautpunkten. Diese ma namentlich bei der Unterscheidung sehr kleiner Distanzen nicht unwichti

sein, nach dem Gesetze, dafs deutlich unterscheidbare Gröfsen beim Mangel anderer Hilfsmittel der Beurtheilung uns gröfser erscheinen, als undeutlich unterscheidbare. Dafs die Anzahl der empfindlichen Elemente bei der Schätzung der gröfseren Distanzen ohne allen Einflufs sei, ist oben gezeigt worden.

Für die empiristische Theorie ist es übrigens ganz gleichgültig, wie 801
die Netzhaut gestaltet ist, wie das Bild auf ihr liegt und wie es verzerrt ist, wenn es nur scharf begrenzt ist; sie hat es nur und allein zu thun mit der Projection der Netzhaut, welche die optischen Medien nach aufsen entwerfen.

Die Richtung, in der die gesehenen Objecte sich zu unserem Körper befinden, wird beurtheilt mit Hilfe der I n n e r v a t i o n s g e f ü h l e der Augenmuskelnerven, aber fortdauernd c o n t r o l l i r t nach dem Erfolge, das heifst nach der Verschiebung der Bilder, welche die Innervationen hervorbringen. Sehen wir durch Prismen und nehmen wir dabei Bewegungen mit unserem Körper und unseren im Gesichtsfelde erscheinenden Händen vor, so lernen wir bald, trotz der falschen Richtung der einfallenden Strahlen durch das Prisma richtig sehen. Die Erscheinungen des Bewegungsschwindels zeigen ebenso eine Veränderung in der Beurtheilung der Wirkung gewisser Innervationen an.

Wir beurtheilen den a b s o l u t e n Grad der Convergenz unsicherer, als ie gleich gerichteten Bewegungen beider Augen, vielleicht weil für die onvergenz eine anhaltendere Ermüdung zu Stande kommen kann, welcher icht durch Ermüdung für Divergenz das Gleichgewicht gehalten wird, ährend eine längere Wendung der Augen nach rechts nicht leicht ohne azwischenfallende Wendungen nach links vorkommen möchte, wobei die rmüdung sich gleichmäfsiger auf die antagonistischen Muskeln vertheilt.

Theils deshalb, theils aber auch, weil wir consequent die subjectiven omente in unseren Sinnesempfindungen unbeachtet lassen und also bei xirung eines nahen Gegenstandes die ganze Summe von Gesichtseindrücken d Innervationsgefühlen nur als das sinnliche Zeichen für ein dort gelegenes oject betrachten, ohne zu analysiren, welche Eindrücke dem rechten oder ken Auge angehören, welche Stellung dieses oder jenes hat, beurtheilen r die Richtung der Objecte gegen unseren Körper nach der g e m e i n-men m i t t l e r e n Richtung beider Augen, auch wenn wir nur mit einem ge das Object wirklich sehen. Es entspricht dies der Regel, dafs wir bei ndrücken, die wir unter ungewöhnlicher Art des Gebrauches der Organe näugigem Sehen) erhalten, nach der Ähnlichkeit mit den Eindrücken bei malem Gebrauch (doppeläugigem Sehen) urtheilen; daher die von J. Towne l E. Hering aufgefundene Regel für die Projection der Gesichtsbilder h aufsen, mit den Modificationen, die ich für die Raddrehungen bei rägen Blickrichtungen habe anbringen müssen.

Wir kommen jetzt zum d o p p e l ä u g i g e n Sehen. So lange wir im ectiven Gebiete verweilen, beim Sehen von Körpern oder von stereo-

skopischen Bildern, sind die Erscheinungen einfach zu erklären und leich verständlich nach der empiristischen Theorie; auch ist dei Einflufs de Erfahrung in diesem Gebiete meistens selbst von den Anhängern nativistische Theorien, mit Ausnahme einiger der neusten Arbeiten, anerkannt worden Die Täuschungen, welche hier vorkommen, erklären sich aus der Unsicher heit der Schätzung der Convergenz. Wenn wir den Augen Bilder zeiger welche von reellen Objecten nur bei einem bestimmten Grade der Con vergenz gegeben sein könnten, so geben wir ihnen die entsprechende Deutung auch wenn zur Zeit wirklich ein anderer Grad von Convergenz besteht
802 Dazu kommt, dafs wir wegen der mangelnden Sicherheit des Convergenz gefühls, auch keine Sicherheit in der Beurtheilung der Differenzen der Rad drehungen haben, welche die convergenten Augen bei gehobener un gesenkter Blickebene zeigen. Wenn daher die Abweichungen in den Linie der gesehenen Bilder uns nicht aufmerksam machen, dafs Drehung vorhande sei, so urtheilen wir so, als ob keine da wäre, und es treten dann die vo Recklinghausen und von Hering beschriebenen Täuschungen ein.

Wenn nun aber bei festgehaltenem Fixationspunkte die Aufmerksamke der flächenhaften Anordnung der Gegenstände im Gesichtsfelde zugelenk wird, so sieht jedes Auge eine andere Anordnung derselben und die beide Bilder können nicht ganz congruiren; wenn also einzelne Punkte de selben congruiren, so müssen andere Punkte der Bilder disparat sein un diese erscheinen dann an zwei verschiedenen Stellen des gemeinschaftliche Sehfeldes, als Doppelbilder. Punkte der Netzhäute, beziehlich Punkte de beiden Sehfelder, deren Bilder im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde zusamme fallen, hat man identische oder correspondirende Punkte genann

In Bezug auf die Natur der correspondirenden Punkte ergeben nun d Thatsachen mit Entschiedenheit so viel:

1. Die Bilder correspondirender Punkte werden in der Regel in di selbe, die Bilder nicht correspondirender Punkte in verschiedene Stellen d gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes verlegt; doch kommen kleinere Abweichung von beiden Theilen dieser Regel vor, wenn wir die beiden Bilder zur A schauung eines körperlichen Objects vereinigen.

2. Die Empfindungen, welche durch die Erregung correspondirend Netzhautpunkte hervorgebracht werden, sind nicht identisch, sondern ve schieden. Wir müssen dies nothwendig schliefsen aus der Thatsache, da wir auch beim Lichte des elektrischen Funkens von einer stereoskopisch Linienzeichnung immer das richtige Relief erhalten. Wären die Empfindung correspondirender Punkte ununterscheidbar gleich, so müfste ebenso oft u ebenso leicht das umgekehrte Relief erscheinen.[1] Wir schliefsen dasseli zweitens daraus, dafs verschiedene Beleuchtung oder Färbung entsprechend

[1] Donders giebt an (*Anomalies of accommodation and refraction.* London 1864, p. 162 und 166), d bei unbewegtem Auge oft das pseudoskopische Bild statt des stereoskopischen erscheine. In einer spä erschienenen Abhandlung im *Nederlandsch Archief* (1866), wo er ähnliche Vorsichtsmaafsregeln angewen hat, wie oben S. 890 angegeben sind, hat er aber im Wesentlichen dieselben Resultate, wie Aub und ich erhalten.

Flächen in zwei stereoskopischen Bildern eine andere Anschauung, nämlich die des Glanzes, hervorbringt als jede, wie immer gewählte, gleichartige Färbung beider Flächen. Dafs hierbei Augenbewegungen und der Wettstreit der beiden Sehfelder keinen Einflufs haben, zeigt sich namentlich bei der Beleuchtung auch dieser Bilder mit dem elektrischen Funken.

3. Unter dem Einflufs habitueller abnormer Augenstellungen bei Schielenden ändert sich das Verhältnifs der Correspondenz der beiden Netzhäute.

Hieraus schliefse ich, dafs jede anatomische Hypothese unzulässig ist und unvereinbar mit den Thatsachen, welche eine vollständige Verschmelzung der beiderseitigen Empfindungen voraussetzt, also namentlich jede, welche eine Vereinigung der von correspondirenden Netzhautstellen kommenden Fasern zu einer Faser annimmt, die den beiderseitigen Eindruck ungetrennt *803* dem Gehirne zuleiten soll. Nur eine solche Form der anatomischen Hypothese würde mir zulässig erscheinen, wonach beide Eindrücke theils gesondert, theils aber auch mit einer gemeinsamen oder gleichen Wirkung im Gehirn zur Perception kommen; also etwa so, dafs die Faser A von dem rechten Auge sich spaltet in die Fasern a und α, die correspondirende Faser B in die Fasern b und β, dafs a und b gesondert in das Centralorgan des Sehens eintreten und verschiedene Eindrücke hervorbringen, α und β aber sich vereinigen, um einen beiden gemeinsamen dritten Eindruck zu machen.

Eine so modificirte Annahme würde mir zulässig, aber weder wahrscheinlich noch nothwendig erscheinen. Vielmehr ergeben die Consequenzen der bisher aufgestellten Erklärungen auch hier eine, wie mir scheint, vollständig genügende Erklärung ohne eine solche Annahme. Beim normalen Sehen sind immer die Blicklinien auf denselben objectiven Punkt gerichtet, dem gleichzeitig auch die Aufmerksamkeit zugewendet ist; auf allen anderen Punkten der Netzhäute dagegen kommen bald gleiche, bald ungleiche Eindrücke vor; daher wird vor allen Dingen die Localisation der Eindrücke der Netzhautgruben eine übereinstimmende. Ist es dagegen wegen einer Erkrankung der Muskeln nicht möglich, die dazu gehörige Stellung der Augen herbeizuführen, und wird dafür eine andere Stellung habituell, so bestimmt diese auch, mit welchem Punkte der anderen Netzhaut die Netzhautgrube jedes Auges correspondent wird.

Die Identität der Meridiane bestimmt sich danach, wo sich am häufigsten Reihen derselben Punkte abbilden. Dies geschieht zunächst in der Primärstellung der Blickebene, die wir als mittlere und gewöhnlichste Stellung dieser Ebene betrachten dürfen, auf den Netzhauthorizonten. Demnächst scheinen bei vielen normalsichtigen Augen die nach dem Horizont hinlaufenden Linien des Fufsbodens einen bestimmenden Einflufs auf die Lage der verticalen correspondirenden Meridiane auszuüben.

Sind diese beiden Paare correspondirender Meridiane bestimmt, so bestimmen sich die übrigen Abmessungen der Sehfelder und damit die Lage der congruirenden Punkte in beiden vollständig nach dem oben beschriebenen Verfahren mittels der Augenbewegungen.

Da hiernach die Vergleichung der Dimensionen beider Sehfelder un die Lage der congruenten Punkte in ihnen ein Ergebnifs der Ausbildun des Augenmaafses ist, so sind kleine Irrungen in diesen Abmessunge möglich, wenn sich mit grofser Lebhaftigkeit die Anschauung körperliche Einheit der beiden Bilder aufdrängt. Sind die Entfernungen der Doppe bilder von einander dagegen sehr auffallend, so kann eine annähernd richtig Deutung derselben mit der Wahrnehmung ihrer Trennung im Gesichtsfeld zusammen bestehen. Alles, was die Vereinigung der Doppelbilder zu körperlichen Anschauungsbilde erschwert oder die Vergleichung ihrer Lag im Gesichtsfelde erleichtert, Vermeidung aller Augenbewegungen und Übun in ihrer Beobachtung macht sie leichter sichtbar. Je nach der Richtun der Aufmerksamkeit kann man solche, die an der Grenze der Wahrnehmbar keit liegen, auch beim Lichte des elektrischen Funkens, welches allen Einflu
804 der Augenbewegungen aufhebt, bald sehen, bald nicht sehen. Alles die sind Umstände, die mit der aufgestellten Erklärung sehr gut zusammen stimmen und aus ihr hergeleitet werden können.

Die Erscheinungen des Wettstreits endlich hängen von der Eigen thümlichkeit unseres Bewufstseins ab, dafs es entweder nur einen Eindruc auf ein Mal, oder nur ein solches Aggregat von Eindrücken aufnehmen kan die sich zu einer einfachen Vorstellung verbinden. Abgesehen von de bekannten täglichen Erfahrungen zeigt sich diese Eigenthümlichkeit desselbe sehr deutlich bei der bekannten Zeitdifferenz zwischen den Gesichts- un Gehörwahrnehmungen in der astronomischen Beobachtung der Sterndurchgäng ferner in der kleinen Zahl von Gesichtsobjecten, die man beim Lichte de elektrischen Funkens und während der kurzen Nachdauer seines Eindruck wahrnehmen kann. Die Form der Vereinigung der Eindrücke beider Seh felder ist die Anschauung körperlicher Objecte. Wo diese wegen der A der beiden Bilder mifslingt, tritt das im Wettstreit der Sehfelder sic zeigende Schwanken der Aufmerksamkeit ein, wenn diese nicht durch scha gezeichnete Contouren des einen Feldes gefesselt ist. Ich habe oben di Methoden beschrieben, nach denen es gelingt, die Aufmerksamkeit auf eine der Felder zu fesseln und dem Schwanken ein Ende zu machen. Dadurc besonders kann auch der Nachweis geführt werden, dafs dieser Wettstre nur ein Phänomen der Aufmerksamkeit ist.

Aus dieser Übersicht der aufgestellten Erklärungen geht hervor, daf dabei von den psychischen Vorgängen nur die unwillkürlich erfolgenden de Ideenassociation und des unwillkürlichen Flusses der Vorstellungen i Betracht kommen, welche nicht unter der directen Herrschaft unseres Selbst bewufstseins und unseres Willens stehen, wenn wir auch dadurch, dafs wi selbstbewufste Vorstellungen und Zwecke mit jenen in Concurrenz bringe einen gewissen Einflufs auf deren Lauf haben können. Eben darin liegt e nun, dafs die Ergebnisse jenes Ablaufs der Vorstellungen uns entgegentrete als durch eine Macht gegeben, die wir nicht oder nur zum kleinen Theil beherrschen können, und die unserem Willen und Selbstbewufstsein dahe

als eine fremde, objective Naturmacht entgegentritt, gerade wie die unmittelbar von aufsen gegebenen sinnlichen Empfindungen. Was also von Resultaten psychischer Vorgänge dieser Art sich mit den Sinnesempfindungen verbindet, erscheint uns ebenso durch äufseren Einflufs gegeben wie die unmittelbare Empfindung, und nicht durch selbstbewufste und freie Überlegung gefunden, nicht von uns erdacht. In dieser Beziehung hat die empiristische Ansicht vielfältiges Mifsverständnifs von Anhängern sowohl, als von Gegnern erfahren, und ich mache deshalb auf diesen Punkt noch besonders aufmerksam. Will man diese Vorgänge der Association und des natürlichen Flusses der Vorstellungen nicht zu den Seelenthätigkeiten rechnen, sondern sie der Nervensubstanz zuschreiben, so will ich um den Namen nicht streiten. Hier würde die empiristische Theorie mit derjenigen Form der nativistischen, wie sie PANUM zum Beispiel aufgestellt hat, sich vielleicht vereinigen lassen, nur dafs er als natürlich gegeben ansieht, was mir nur durch die Erfahrung gewonnen zu sein scheint.

Was nun die verschiedenen nativistischen Theorien betrifft, so ist ihr Kernpunkt, dafs sie die Localisation der Eindrücke im Gesichtsfelde von einer angeborenen Einrichtung ableiten, entweder so, dafs die Seele eine 805
directe Kenntnifs der Ausdehnungen der Netzhaut haben soll, oder so, dafs in Folge der Reizung bestimmter Nervenfasern gewisse Raumvorstellungen vermittels eines angeborenen, nicht weiter definirbaren Mechanismus entstehen. J. MÜLLER namentlich hat diese Ansicht in der ersten Form durchgeführt. Er sagt:[1] „Der Begriff des Raumes kann nicht erzogen werden, vielmehr ist die Anschauung des Raumes und der Zeit eine nothwendige Voraussetzung, selbst Anschauungsform für alle Empfindungen. Sobald empfunden wird, wird auch in jenen Anschauungsformen empfunden. Was aber den erfüllten Raum betrifft, so empfinden wir überall nichts, als nur uns selbst räumlich, wenn lediglich von Empfindung, von Sinn die Rede ist; und so viel unterscheiden wir von einem objectiven erfüllten Raum durch das Urtheil, als Raumtheile unserer selbst im Zustande der Affection sind, mit dem begleitenden Bewufstsein der äufseren Ursache der Sinneserregung. Die Netzhaut sieht in jedem Sehfelde nur sich selbst in ihrer räumlichen Ausdehnung im Zustande der Affection; sie empfindet sich selbst in der gröfsten Ruhe und Abgeschlossenheit des Auges räumlich dunkel."

Diese Ansicht erweitert daher die von KANT aufgestellte Ansicht, dafs Raum und Zeit ursprünglich gegebene Formen unserer Anschauungen seien, dahin, dafs auch die specielle Localisation jedes Eindrucks durch die unmittelbare Anschauung gegeben sei. Die meisten deutschen Physiologen folgten dieser Ansicht von MÜLLER, und es wurden von ihnen mancherlei Erklärungen der Gesichtserscheinungen auf die besonderen Eigenthümlichkeiten der Form der Netzhautbilder gebaut. So hat RECKLINGHAUSEN[2] die Abweichung der scheinbar rechten Winkel dadurch zu erklären versucht,

---

[1] J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns* S. 54 ff.
[2] RECKLINGHAUSEN, Netzhautfunctionen, *Archiv für Ophthalmologie.* V. 2, S. 128—141.

dafs die Fläche der Netzhaut schief gegen die Gesichtslinie des Auge gerichtet sei und deshalb die optischen Bilder eines rechten Winkels in den Netzhautbilde schiefwinklig werden könnten. Diese Beschaffenheit der Netzhaut bilder sollte dann unmittelbar wahrgenommen werden können. E. Hering und A. Kundt[2] haben sogar angenommen, die Seele schaute die Ent fernungen zwischen zwei Netzhautpunkten direct nicht nach dem Bogen au der Netzhaut, sondern nach der Sehne an, und versuchten daraus die Er klärung der oben beschriebenen Täuschungen der monocularen Localisatio im Gesichtsfelde herzuleiten. Dafs diese Hypothese zur Erklärung der jenigen Erscheinungen, zu deren Gunsten sie allein erfunden ist, keinesweg genügt, ist oben schon angeführt worden.

Die besprochene Annahme der nativistischen Theorien ist eigentlich ein Verzichtleistung auf jede Erklärung der Localisationsphänomene. Darübe läfst sich natürlich nicht weiter rechten, und namentlich kann es J. Mülle in keiner Weise zum Tadel gereichen, dafs er zu einer Zeit, wo noch all Beobachtungen über das Gesetz der Augenbewegungen fehlten, und au einem Versuche, diese für die Erklärung der Localisation zu gebrauchen nichts als ganz vage Folgerungen gezogen werden konnten, in seinen Er
806 klärungsversuchen nicht weiter zu gehen geneigt war. Dafs dagegen au dem Gesetze der Augenbewegungen, soweit wir es bisher in seinen Grund zügen kennen, sich auch die Grundzüge des Augenmaafses herleiten lassen die in der nativistischen Ansicht gar keine weitere Erklärung finden, hab ich oben zu zeigen mich bemüht.

Eine nothwendige Consequenz der erwähnten Ansicht, dafs die Locali sation der Eindrücke im Gesichtsfelde ursprünglich gegeben sei, ist dan die, dafs auch ursprünglich gegeben sein mufs, welche Punkte der eine Netzhaut mit denen der anderen dieselbe Localisation geben, als correspondirend, oder, wie die nativistische Ansicht es bezeichnet hat identisch sind. Hier in der Lehre von der angeborenen und anatomisc begründeten Identität, welche also als eine nothwendige Consequenz de nativistischen Ansicht betrachtet werden mufs, treten nun aber die scho oben bezeichneten wesentlichen Schwierigkeiten dieser Ansicht auf; dahe dieses Gebiet auch immer der Haupttummelplatz der Streitigkeiten ge wesen ist.

Erstens nämlich konnten die Beobachtungen der körperlich ausgedehnte Objecte schon lehren, und zeigte namentlich die Erfindung des Stereoskop durch Wheatstone, dafs wir keineswegs immer Doppelbilder sehen, wo nacl der strengen Identitätstheorie dergleichen zu erwarten sind, und dafs die selben unter dem Einflusse der Anschauung körperlicher Ausdehnung ver schwinden. Nun wurde zwar von Brücke mit Recht der grofse Einflufs de Augenbewegungen hierbei hervorgehoben; indessen auch wenn man diese Einflufs eliminirt, bleibt doch immer die Thatsache bestehen, dafs auch de

[1] Hering, *Beiträge zur Physiologie.* Heft 1, S. 65—80.
[2] Kundt, *Poggendorff's Annalen.* 1863. CXX, 118—158.

geübteste Beobachter gewisse einander nahe stehende ähnliche Doppelbilder mit einander untrennbar verschmilzt, während er einander eben so nahe stehende ähnliche Bilder im monocularen Felde, oder in der Färbung verschiedene Bilder im binocularen Felde mit der gröfsten Leichtigkeit von einander unterscheidet. Noch gröfseren Anstofs haben die Anhänger der Identitätstheorie an der von Wheatstone behaupteten Thatsache genommen, dafs unter Umständen auch die Eindrücke identischer Netzhautpunkte getrennt und an zwei verschiedene neben einander liegende Stellen des Objects verlegt werden könnten. Dafs das letztere aber eine nothwendige Consequenz des ersteren sei und bei richtig angestellten Versuchen auch thatsächlich beobachtet werde, habe ich oben ausgeführt. Man mufs nur nicht, wie es von den Gegnern der Behauptung Wheatstone's immer geschehen ist, verlangen, dafs bei der Trennung identischer Eindrücke viel mehr geleistet werde, als bei der Vereinigung disparater Eindrücke unter gleichen Umständen geleistet werden kann.

Das wesentliche Gewicht der Thatsachen anerkennend, stellte Panum eine Modification der Identitätstheorie auf, wonach jeder Punkt a der einen Netzhaut einem gewissen correspondirenden Empfindungskreise A in der andern identisch sein sollte, so dafs das Bild des Punktes a verschmelzen könnte mit einem Bilde auf jedem einzelnen Punkte von A, welches ähnliche Contouren darböte. Dabei sollte aber eine verschiedene Tiefenwahrnehmung entstehen, wenn a mit verschiedenen Punkten des Kreises A verschmölze. Ob es mit diesem oder jenem verschmölze, sollte davon abhängen, wo sich im Empfindungskreise A eine Contour vorfände, die der durch a hinziehenden ähnlich sei. Aus den Wettstreitserscheinungen beweist 807
Panum die dominirende Macht der Contouren im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde beider Augen, wobei er freilich wohl den Sieg der Contouren als zu unbedingt und dauernd betrachtet hat. Wettstreit findet nach ihm hauptsächlich zwischen unähnlichen, aber nahe gleich starken Farben und Contouren statt. Ähnliche streben zu verschmelzen.

Wenn man die von Panum aufgestellten Sätze blos als zusammenfassenden Ausdruck der Thatsachen ansehen will, was er selbst auch als das Wesentlichere und Wichtigere betont, so sind sie der Hauptsache nach richtig. Ich würde gegen seine Darstellung der Thatsachen nur einzuwenden haben, 1. dafs ich mich von der wirklichen Existenz binoculärer Mischfarben auch in den von ihm beschriebenen Versuchen nicht habe überzeugen können, 2. dafs Herr Panum keine genügenden Methoden die Aufmerksamkeit zu fesseln, angewendet und daher die grofse Rolle, welche die Aufmerksamkeit bei dem Wettstreite der Sehfelder und bei der Unterscheidung der Doppelbilder spielt, nicht genügend erkannt hat, 3. dafs er die Augenbewegungen beim Fixiren der Bilder für theilweis unwillkürliche Reflexbewegungen hält, während ich selbst bei mir wohl eine Neigung zu gewissen gewohnheitsmäfsigen Stellungen anerkennen kann, die aber nicht im geringsten die Willkür der Bewegung beeinflufst, wenn ich eine andere Stellung der Blick-

punkte hervorzubringen wünsche, 4. dafs bei der Verschmelzung der Doppel bilder doch nicht blos die Ähnlichkeit der Contouren und der Grad der An näherung an eine correspondirende Lagerung entscheidet, sondern auch di Anwesenheit oder Abwesenheit anderer Vergleichungspunkte für die richtig Abmessung der scheinbaren Lage beider Contoure im gemeinsamen Gesichts felde. Das Letztere hatten schon BERGMANN's[1] Versuche gezeigt, und i ähnlicher Weise zeigt es der oben S. 892 beschriebene Versuch an *Fig. l* selbst wenn man von VOLKMANN's Versuchen absehen wollte, gegen welch PANUM den Einwand erhoben hat, dafs in ihnen kleine, wenn auch unbedeutend Veränderungen der Contouren durch zugesetzte Linien und Punkte angebrach sind, die an der Stelle das Verschmelzen hindern. Aber wie BERGMANN' und meine Versuche zeigen, hindern auch correspondirend gelegene Linien welche beide auf der gleichen Seite von zwei disparaten liegen und di Ähnlichkeit von deren Contouren gar nicht beeinträchtigen, das Verschmelze derselben, welches ohne die Anwesenheit jener correspondirenden Linie eintreten würde.

Die von Herrn PANUM augestellten Erklärungen sind nun nach de Verwahrungen und Erläuterungen derselben, die er in seiner zweiten Arbeit dazu gegeben hat, kaum etwas mehr, als dafs jede Klasse von Beobachtunge zu einem besonderen Vermögen der Nervenapparate erhoben wird. S schreibt er den beiden Augen oder ihren Nervenapparaten eine binocular Energie der Farbenmischung zu, vermöge deren sich binocula gesehene Farben zur Mischfarbe vereinigen können. Daneben giebt es abe auch eine andere binoculare Synergie des Alternirens, vermöge dere binocular gesehene Farben sich auch nicht vereinigen, sondern in Wettstrei
808 gerathen können. Die letztere soll überwiegen, wenn die beiderseitig ein wirkenden Erregungen sehr intensiv, oder die Erregbarkeit des Sehorgane sehr grofs ist. Disparate Bilder können vereinigt werden mittels eine dritten binocularen Synergie des Einfachsehens durch correspon dirende Empfindungskreise. Die Tiefenwahrnehmung endlich komm zu Stande mittels einer vierten specifischen Synergie der binoculare Parallaxe.

Die Contouren der Figuren werden als besonders starke Nervenreiz betrachtet und die Augenstellungen im Wesentlichen als unwillkürlich ein tretende Reflexbewegungen, und auch in Bezug auf die genannten Synergie betont es Herr PANUM besonders, dafs sie als physiologische, nicht al psychische Kräfte zu betrachten seien.

Ich mufs gestehen, dafs ich nicht klar verstanden habe, in welche Weise Herr PANUM sich denkt, dafs neben der Verschmelzung disparate Punkte in correspondirenden Empfindungskreisen doch der Hauptsatz de Identitätslehre, wonach die Eindrücke identischer Stellen verschmelzen müssen noch bestehen könne, auf welchen wirklichen oder anscheinenden Wider

---

[1] BERGMANN, *Göttinger gelehrte Anzeigen.* 1859. S. 1055—1063.

[2] PANUM, *Reichert* und *du Bois-Reymond*, *Archiv für Anat. und Physiol.* 1861. S. 63—111.

spruch Herr Volkmann aufmerksam gemacht hatte. Herr Panum erklärt, seine Sätze behaupteten, dafs die Eindrücke, welche correspondirenden Empfindungskreisen angehören, verschmelzen könnten, die aber auf identischen Stellen verschmelzen müfsten. Daraus würde aber doch immer olgen, dafs, so oft der Eindruck a einer Netzhaut mit dem einer disparaten Stelle β verschmilzt, nothwendig auch a mit dem der identischen Stelle α ler zweiten Netzhaut, folglich auch α und β, zwei Stellen desselben Bildes nit einander verschmelzen müssen, wenn nicht eines von ihnen ausgelöscht vird, was jedenfalls in vielen Fällen, wie in den oben beschriebenen Versuchen, nicht der Fall ist. In Figuren wie *M* und *N Taf. V* sind beide identisch liegende, aber nicht verschmelzende Linien durch Contouren hervorgehoben; keine von ihnen verschwindet durch Wettstreit mit der andern, onst könnte keine stereoskopische Tiefenwahrnehmung durch ihre Vereinigung mit einer disparaten Linie des andern Bildes auch in der Beleuchtung durch den elektrischen Funken zu Stande kommen. Ebenso müssen zwischen zwei verschmelzenden disparaten Grenzlinien verschieden gefärbter Flächen immer gewisse identische Punkte existiren, für welche der Wettstreit der durch die benachbarten Contoure hervorgetriebenen Farben im Gleichgewicht ist und die also beide gesehen und dabei an verschiedene Punkte des angeschauten körperlichen Objects verlegt werden. Übrigens ist dieser Streitpunkt, so viel ich einsehe, unerheblich für die Theorie; ich mufs ihn aufserdem nach dem Ergebnifs meiner eignen Beobachtungen zu Gunsten von Wheatstone's Behauptung als erledigt betrachten. Wenn man auch die Nothwendigkeit der Verschmelzung der Eindrücke auf identischen Stellen fallen läfst, so behalten dieselben doch immer die factische Bedeutung, dafs ähnliche Eindrücke beider Netzhäute desto leichter verschmelzen, je näher sie an identische Stellen treffen. Das scheint mir auch die einzig richtige Beschreibung des Identitätsverhältnisses zu sein, was man übrigens auch als seinen Grund betrachten möge, und dadurch dafs Herr Panum dieses Verhältnifs durch bezeichnende Ausdrücke scharf hervorgehoben hat, hat er einen wesentlichen Fortschritt in der Lehre vom binocularen Sehen *809*
bewirkt, den ich gern anerkenne; auch würde ich gewifs der Letzte sein, der gegen seine Scheu und Vorsicht in der theoretischen Verallgemeinerung der beobachteten Thatsachen Einspruch erhöbe, und würde seine theoretischen Versuche, die er selbst als Nebensache zu betrachten auffordert, hier nicht kritisirt haben, wenn ich nicht überhaupt die möglichen Erklärungsformen des vorliegenden Gebiets zu besprechen genöthigt wäre, und wenn nicht ein Theil von Panum's theoretischen Ansichten auch die Grundlage der unten zu besprechenden neueren Theorie von E. Hering bildete.

Der Leser wird aus der gegebenen Übersicht entnehmen, dafs die Erklärungen, welche Herr Panum giebt, wenigstens so weit sie sich auf die Verschmelzung und den Wettstreit der Bilder beziehen, in der That nur der Form nach Erklärungen sind, indem die Thatsachen in einem abstracten Begriff zusammengefafst werden, und nur in der Verwahrung gegen die Ein-

mischung psychischer Vorgänge, welche sich aber überall auf unvollständig Beobachtung der Thatsachen stützt, beziehen sie sich wenigstens negativ a das ursächliche Verhältnifs. Übrigens werden in ihnen der Nervensubstai Formen der Thätigkeit beigelegt, die wir wohl aus dem Gebiete der nieder Seelenthätigkeiten kennen, aber denen Ähnliches im Gebiete der Körperwe noch niemals aufgefunden ist.

In deutlicherer und fester ausgebildeter Gestalt kehren uns die Grun züge der Theorie von Panum in der von E. Hering aufgestellten Theor des binocularen Sehens entgegen. Diese Theorie ist überhaupt unter d bis jetzt aufgestellten wohl die consequenteste Form, welche die nativistisc Theorie erhalten hat, und verdient deshalb eine eingehendere Besprechun Ein bedeutender Fortschritt der Hering'schen Theorie liegt darin, dafs s von einer richtigeren Kenntnifs der scheinbaren Sehrichtung der angeschaut Objecte ausgeht, wodurch wesentliche Schwierigkeiten der früheren Theori beseitigt werden.

Herr Hering nimmt an, dafs die einzelnen Netzhautpunkte im erregt Zustande aufser den Farbenempfindungen noch dreierlei verschiedene Art von Raumgefühlen hervorrufen. Ein erstes entspricht dem Höhenwerth d betreffenden Netzhautstelle, das zweite dem Breitenwerth. Die Höhengefüh und Breitengefühle, welche zusammen das Richtungsgefühl für den Ort i gemeinschaftlichen Gesichtsfelde ergeben, sind für correspondirende Netzhau punkte gleich. Aufserdem existirt ein drittes Raumgefühl besonderer A ein Tiefengefühl, welches in je zwei identischen Netzhautpunkten gleiche, ab entgegengesetzte Werthe, dagegen auf symmetrisch gleich gelegenen gleic und gleichsinnige Werthe haben soll. Das Tiefengefühl der äufseren Netzhau hälften ist positiv, das heifst entspricht gröfserer Tiefe, das der inner Netzhauthälften negativ, das heifst: entspricht gröfserer Annäherung.

Durch diese Annahme ist zunächst das oben schon von mir bezeichne nothwendige Erfordernifs einer mit den Thatsachen vereinbaren Identität theorie erfüllt, die Eindrücke correspondirender Netzhautstellen sind zw theilweise gleich, nämlich betreffs ihres Richtungsgefühls, theilweise ab verschieden, nämlich durch ihr Tiefengefühl. Bis hierher würde ich d
810 Annahmen von Hering sogar für die von mir vertretene empiristisc Theorie zwar nicht nothwendig, aber vortheilhaft finden, eine solche Annahn würde die Erklärung der Einübung des Augenmaafses in der Erziehung d Gesichtssinns wesentlich erleichtern. Nur wären dabei die „Raumgefühl als Localzeichen zu betrachten, deren räumliche Bedeutung erst dur Erfahrung zu lernen wäre. Gleiche Zeichen aber für das bezeichnete Gleic zu haben, würde offenbar vortheilhaft sein.

Nur in einer Beziehung macht die Abweichung der scheinbar vertical und identischen Meridiane eine Abweichung von den Hering'schen A nahmen nöthig für diejenigen Augen, die damit behaftet sind, nach d Versuchen, die ich selbst und Herr Dastich angestellt haben. Die Höhe und Breitenwerthe nämlich würden bei uns ebenfalls für identische Stell

›ich zu nehmen sein, aber die positiven und negativen Tiefenwerthe würden :ht durch die correspondirenden scheinbar verticalen Meridiane, sondern ırch die wirklich verticalen Meridiane zu scheiden sein. Wir sehen nämlich i symmetrischer Augenstellung, wie ich schon oben bemerkt habe, eine ıie, die auf den beiden wirklich verticalen, aber nicht identischen Meridianen ;gebildet ist, senkrecht zur Visirebene, dagegen eine solche, die auf den ›iden scheinbar verticalen identischen Meridanen abgebildet ist, gegen den ›obachter geneigt, mit ihrem oberen Ende entfernter als mit dem untern. viel ich sehe, hat diese Abweichung weiter keinen Einfluſs auf die ferneren ınsequenzen der Theorie.

Nun stoſsen wir freilich auch bei Hering wieder auf das Mysterium r Identitätslehre: Auf Deckpunkte (d. h. correspondirende Punkte) llende gleiche oder verschiedene Lichtreize lösen stets nur ıne einfache Lichtempfindung aus. Sie müssen also nothwendig ·einigt werden, wie an vielen Stellen des Buches betont wird, während ıdererseits doch auch disparate Bilder correspondirender Empfindungskreise ·einigt werden können. Auch bei Hering scheint mir dieser Satz mehr ıe Folge einer polemischen Stimmung gegen vielleicht zu eingreifende gner der Identitätstheorie zu sein, als ein nothwendiges Erforderniſs der ıeorie. Er könnte, so viel ich sehe, ohne Schaden für den Zusammenhang seitigt werden, indem man dafür setzte, daſs Bilder von ähnlichen Con- ıren und ähnlicher Färbung desto leichter verschmelzen, je näher sie ıntischen Stellen kommen.

Für dieses Einfachsehen mit disparaten Netzhautstellen nimmt nun Herr ring nicht wie Herr Panum einen organischen Grund an, sondern einen ·chischen, indem er sich darauf stützt, daſs zur Trennung zusammengesetzter ıpfindungen Übung und eine gewisse Schulung der Aufmerksamkeit noth- ıdig sei, ein Satz, der durchaus richtig ist und eine viel gröſsere Zahl den anscheinenden Widersprüchen in den Erscheinungen dieses Gebietes erklären im Stande ist, als Herr Hering daraus erklärt. Namentlich t für seine Theorie hier folgende Schwierigkeit ein. Wenn a und α respondirende Netzhautstellen sind, b eine dem a benachbarte in dem- ›en Auge wie a, und gleiche Bilder auf b und α entworfen werden, so ·schmelzen sie nach Herrn Hering's Meinung, weil sie in Qualität gleich, Richtungsgefühl sehr ähnlich und nur in Tiefengefühlen erheblich ver- ıieden sind, und weil wir uns nicht die Zeit nehmen, diese Bilder getrennt betrachten, sondern, wenn wir auf sie aufmerksam werden, zur Fixation *811*
ler forteilen — was seiner Meinung zufolge freilich durch eine Art von lexbewegung geschehen soll —, und sie dann einfach sehen. Nun ·e ich, warum unterscheiden wir denn aber so sehr viel eher und leichter, ın zwei gleichartige Bilder auf die Netzhautstellen a und b fallen. Diese l dann nämlich nicht blos qualitativ gleich und haben in den Richtungs- ihlen denselben kleinen Unterschied, wie b und α, sondern sie haben h einen ebenso kleinen Unterschied im Tiefengefühl, während b und α

in diesem einen sehr grofsen Unterschied darbieten. Aus Herrn Hering Darstellung würde also folgen, dafs die Empfindungen *a* und *b* noch se viel leichter verschmelzen müfsten, als die von *α* und *b*, was aber der E fahrung geradezu widerspricht. Herr Hering kann nun darauf antworte dafs wenn wir *a* oder *b* zu fixiren suchen, nur eins fixirt werden kann, u dafs wir daher gelernt haben *a* und *b* zu unterscheiden, nicht aber *α* und Damit würde er aber ganz auf dem Standpunkte der empiristischen Theo angekommeu sein, wonach wir die Empfindungen der Localzeichen zu unte scheiden und zu deuten lernen müssen.

Und gerade diese Gelegenheit, wo Herr Hering selbst gezwungen i in der psychischen Theorie Lösung der Schwierigkeiten zu suchen, die sei Ansicht hervorruft, benutzt er, um gegen Volkmann's und Anderer psych logische Erklärungen zu polemisiren. Volkmann's Fehler, wenn man es nennen will, ist dabei aber im Wesentlichen nur der, dafs er die psychisch Processe, auf die es hier ankommt, mit denjenigen Benennungen belegt h die wir ihnen geben, wenn sie in das Selbstbewufstsein erhoben werd Zum Theil haben wir gar keine anderen bezeichnenden Benennungen : diese, weil wir Vorgänge nur benennen können, sofern wir von ihnen wiss Wenn also diejenigen Vorgänge dieser Art, von denen wir nur aus ih Resultaten wissen, als unbewufste Seelenvorgänge bezeichnet werd so hat dies seinen guten Sinn und ist eben die einzige Bezeichnung, (wir dafür haben, wenn wir nicht bei jeder Gelegenheit weitläuftige U schreibungen machen wollen.

Bei der binocularen Verschmelzung zweier Eindrücke erhält nun na Hering die Gesammtempfindung den mittleren Werth des Richtungsgefü sowohl als des Tiefengefühls. Da die Tiefengefühle identischer Stellen gle grofs sind, aber von entgegengesetztem Zeichen, so wird der Mittelwerth (Tiefengefühls .bei Verschmelzung identischer Eindrücke gleich Null. I gleichseitigen Doppelbildern fällt, wie leicht zu sehen ist, der Mittelwe des Tiefengefühls positiv aus, das Object erscheint entfernter, bei unglei seitigen Doppelbildern ist der Mittelwerth negativ, das Object ersche näher, als die identisch abgebildeten Objecte.

Wenn jeder Netzhauteindruck sich nothwendig mit dem der corresp direnden Stelle der andern Netzhaut stets in gleicher Stärke vereinig müfste, so würde der mittlere Tiefenwerth dieser Vereinigung immer gle Null sein. Nur dadurch, dafs im Wettstreite der Eindruck desjenigen S feldes, welches die Contour trägt, die Empfindung des andern unterdrüc wird der Tiefenwerth der Contour frei und kann mit seinem eigenthümlic
812 Werthe in die Vereinigung mit der ensprechenden Contour im andern S felde eintreten. Auch dieser Erklärung widersprechen die oben gegebe Modificationen des Wheatstone'schen Versuches, bei denen unähnliche C touren, die sich nicht vereinigen, auf Deckstellen liegen und selbst be Lichte des elektrischen Funkens sich jede von beiden im stereoskopisc Bilde mit ihrem Tiefenwerthe geltend macht, zum Zeichen, dafs keine ihnen im Wettstreite untergeht.

Auf diese Annahme baut nun Herr HERING seine Raumconstruction. [illegible]r nimmt an, alle Bildpunkte, die den Tiefenwerth Null haben, erscheinen [illegible]urch einen unmittelbaren Act der Empfindung in einer Ebene, der Kern- [illegible]läche des Sehraums. Denken wir uns in dieser den Punkt, welcher den [illegible]eiden Netzhautcentren entspricht, als Anfangspunkt eines rechtwinkeligen [illegible]oordinatensystems, die den Tiefenwerthen entsprechenden Coordinaten [illegible]enkrecht zur Kernfläche, so würden die drei Coordinaten jedes gesehenen [illegible]unktes proportional sein den Höhenwerthen, Breitenwerthen, Tiefenwerthen [illegible]es zu dem binocularen Eindrucke gehörigen Raumgefühls, und es wäre nach [illegible]ERING in dieser Weise eine Vertheilung der gesehenen Punkte im Sehraum [illegible]egeben, die wenigstens in der Anordnungsweise der Punkte der wirklichen [illegible]nordnung derselben entspräche, wenn auch die Verhältnisse der einzelnen [illegible]nearen Distanzen nun noch vielfach nach der Erfahrung zu corrigiren wären. [illegible]a auch die Körpertheile des Beobachters mit in diesem so ausgefüllten [illegible]ehraume erscheinen, so wird dadurch auch die räumliche Beziehung der [illegible]esehenen Objecte zum Beobachter zugleich mit zur Anschauung gebracht.

Das sind die wesentlichen Grundzüge der Theorie von HERING. Die [illegible]teren nativistischen Theorien des Sehens hatten nur die Vertheilung der [illegible]esehenen Punkte im Gesichtsfelde für angeboren, die Wahrnehmung der [illegible]iefendimensionen dagegen für einen Act des Urtheils gehalten. PANUM [illegible]tte zuerst die Hypothese aufgestellt, aber nicht in bestimmterer Form [illegible]sgeführt, dafs die binoculare Parallaxe eine unmittelbare Empfindung der [illegible]iefenverhältnisse geben könnte. Dies hat Herr HERING in der beschriebenen [illegible]eise bestimmter auszuführen gesucht und dadurch der nativistischen Theorie [illegible]n noch weiteres Feld eingeräumt, als ihr bisher gegeben war. Das von [illegible]m aufgestellte System verräth einen klar und consequent denkenden Kopf, [illegible] berücksichtigt die bisher bekannt gewesenen Thatsachen vollständig und [illegible]ch einige wichtige neue, die Herr HERING selbst hinzugefügt hat, und [illegible]nn deshalb, wie ich glaube, als ein gutes Specimen dieser Klasse von [illegible]heorien angesehen werden, weshalb ich mir erlaube, meine Kritik speciell [illegible]gen die Theorie von Herrn HERING zu richten.

Der erste Einwand, den ich zu machen hätte und der mir für mein [illegible]nken allerdings als ganz unübersteiglich erscheint, ist der, dafs ich mir [illegible]ht vorstellen kann, wie eine einzelne Nervenerregung ohne vorausgegangene [illegible]fahrung eine fertige Raumvorstellung zu Stande bringen kann. Ich erkenne [illegible]er an, dafs dieser Einwand vielleicht von zu metaphysischer Natur ist, um [illegible] naturwissenschaftlichem Boden gehört zu werden, und merke ihn deshalb [illegible]r nur an für diejenigen Leser, die ihn mit mir theilen. Ich wende mich [illegible]halb sogleich zu den Gegengründen, die dem Bereiche der erfahrungs- [illegible]fsigen Thatsachen entnommen sind.

Dafs die Annahmen der PANUM-HERING'schen Theorie von der Ver- 813
[illegible]melzung der beiden Gesichtsfelder den Thatsachen widersprechen, habe [illegible] schon oben erwähnt. Der Annahme, dafs die beiderseitigen Eindrücke [illegible]eine Empfindung verschmelzen müssen, wobei nur abwechselnd in lang-

samer Schwankung bald der eine, bald der andere vorherrschen könne, wir widerlegt durch die Möglichkeit, stereoskopischen Glanz wahrzunehmen be momentaner Beleuchtung. Die Annahme, dafs in den Fällen, wo disparat Contouren verschmelzen, die identisch zu ihnen gehörigen Bilder der andere Netzhaut unterdrückt seien, wird widerlegt durch das Gelingen de WHEATSTONE'schen Versuchs, wenn er richtig ausgeführt wird, und namentlic durch ein Gelingen bei momentaner Beleuchtung, wobei die Augenbewegunge keinen Einflufs haben können.

Eine weitere Fundamentalhypothese der HERING'schen Theorie ist e: dafs die Punkte, welche auf identischen Netzhautstellen sich abbilden (ode allgemeiner, die den Tiefenwerth Null haben), immer in einer Ebene z liegen scheinen sollen, dafs das Vortreten oder Zurücktreten der binocula gesehenen Objectpunkte vor oder hinter diese Ebene (Kernfläche des Seh raums) nur davon abhängen solle, ob sie positive oder negative stereoskopisch Parallaxe haben. Ich habe oben auf Seite 803 ff. eine Reihe von Versuche beschrieben, aus denen hervorgeht, dafs auch wenn alle anderweitige Anhaltspunkte der Tiefenanschauung fehlen, einfache Liniensysteme, welch genau dieselbe binoculare Parallaxe darbieten, stereoskopisch combinirt, bal als gewölbte, bald als ebene Fläche erscheinen können, je nachdem durc die Querlinien mehr Ähnlichkeit mit den binocularen Bildern eines nahe und mit convergenten Blicklinien gesehenen Objects oder denen eines m parallelen Gesichtslinien gesehenen fernen Objects entsteht.

Ich habe ferner gezeigt, dafs wenn ein System von verticalen Fädei die in der Cylinderfläche des Längshoropters liegen, Herrn HERING in eine Ebene zu liegen scheint, was, wie er andeutet, selbst für seine Augen nicl streng richtig ist, dies eine individuelle Eigenthümlichkeit seiner Augen is die bei keinem der von mir untersuchten Individuen, auch bei mir selbs nicht vorkam, und dafs bei den meisten Beobachtern der Irrthum in de Beurtheilung der Convergenz der Augen, der dieser Erscheinung zu Grund zu liegen scheint, viel kleiner ist, als dafs der von Herrn HERING behauptet Erfolg zu Stande kommen könnte.

Eine Hauptschwierigkeit oder, wie mir scheint, Unmöglichkeit de HERING'schen Theorie sind die Tiefengefühle. So lange Eindrücke der eine Netzhaut mit correspondirenden oder disparaten der andern Netzhaut sic vereinigen, wo es sich nur um die Differenz der Tiefengefühle beider Stelle handelt, tritt, so viel ich sehe, keine wesentliche Schwierigkeit ein, aufse den eben angeführten. Wenn aber das Bild einer Netzhaut, ohne zu ver schmelzen, für sich stehen bleibt und im Wettstreite mit dem der ander Netzhaut dominirt, so nimmt Herr HERING an, und mufs auch nothwendi annehmen, dafs das Tiefengefühl des im Wettstreite siegenden Eindruck ebenfalls unverschmolzen mit dem der correspondirenden Deckstelle de andern Netzhaut zur Herrschaft kommt.

Herr HERING[1] glaubt auch einige Versuche anführen zu können, i

[1] HERING, *Beiträge zur Physiologie*. 5. Heft. S. 338–342.

enen solche monoculare Bilder mit dem ihnen allein zugehörigen Tiefen- 814
indruck zur Erscheinung kämen.

a. Wenn man einen Punkt in der Medianebene fixirt und ein zweiter egt vor oder hinter dem Fixationspunkte, so erscheint dieser in Doppel-ildern, die ebenfalls vor oder hinter dem Fixationspunkte nahe dem wahren rte ihres Objects erscheinen. Diese Beobachtung widerspricht der HERING-chen Theorie nicht, beweist aber auch nichts für sie, da wir eben hin-eichende Übung haben, den Ort eines in nicht zu entfernten, aber erkenn-aren Doppelbildern gesehenen Objects nahehin richtig zu beurtheilen. Dafs ier die Erfahrung und nicht die Tiefengefühle entscheiden, geht aus den eiteren Versuchen hervor, wo beide in Widerspruch kommen und wo die rfahrung, wie mir scheint, immer oder wenigstens, wie Herr HERING igiebt, in der Regel siegt.

b. Zwei Kügelchen werden neben einander an Fäden aufgehängt, die ehlinien hinter ihnen gekreuzt, so dafs drei Kugeln erscheinen, eine mittlere nocular gesehene, zwei seitliche monocular, die rechte vom linken, die ike vom rechten Auge gesehen. Nach HERING sollen die seitlichen Kügelchen iher als das mittlere erscheinen. Ich habe den Versuch wiederholt und ide seinen Erfolg abhängig von der Kopfhaltung. Ist mein Kopf bei der ixation der Kügelchen hinten übergebeugt, die Visirebene also unter ihre imärlage geneigt, so erscheint mir der binocular gesehene mittlere Faden it dem unteren Ende, welches das Kügelchen trägt, genähert, wie oben 808 und 809 schon erörtert ist, und dann auch das mittlere Kügelchen näher s die seitlichen. Ist der Kopf vorn übergebeugt, so tritt der entgegengesetzte ischein ein, der dann freilich dem von HERING's Theorie geforderten dem nne nach entspricht, aber offenbar einen ganz anderen Grund hat. Biegt in den Kopf bald nach vorn, bald nach hinten, so wechselt auch das igelchen seine Stellung.

c. Wenn man einen Stecknadelknopf fixiert, und daneben ist ein senk-chter Draht angebracht etwas nach links und etwas näher als die Steck-del, so erscheint dieser in Doppelbildern, deren rechtes dem linken Auge gehört und einen negativen Tiefenwerth haben sollte, das linke gehört dem chten Auge an und sollte einen positiven Tiefenwerth haben. Das rechte ifste also viel näher, das linke viel ferner als die Stecknadel erscheinen. rr HERING giebt zu, dafs eine solche Tiefenanschauung nur aufserordentlich iwer und flüchtig gesehen werde, weil, wie er meint, die kleinste Schwankung r Convergenz das Urtheil über den Ort des Objectes berichtige. Um ihm er nicht Unrecht zu thun, will ich lieber den Erfolg dieses Versuches mit nen eigenen Worten beschreiben: „Ich sehe zunächst und überhaupt ner dann, wenn meine Augen sich irgendwie, wenn auch nur sehr wenig wegen, die beiden Trugbilder des näheren Drahtes zwar gesondert, aber ide näher als die fixirte einfach erscheinende Stecknadel. Fixire ich er anhaltend und fest und concentrire meine ganze Aufmerksamkeit glichst auf die fixirte Stecknadel, so tritt das eine, dem linken Auge

angehörige Trugbild plötzlich hinter die Stecknadel und erscheint mi
solcher Energie jenseits derselben, dafs ich diesen Eindruck durchaus der
zwingenden Eindrucke vergleichen mufs, mit welchem Stereoskopenbilder sic
815 plötzlich in die Tiefe ausbreiten. Die Erscheinung tritt gerade dann a
sichersten ein, wenn ich am wenigsten daran denke. Die geringste Schwankun
des Blickes aber, oder nur der Gedanke an das zweite näher erscheinend
Trugbild versetzt das andere sogleich wieder vor die Kernfläche; denn e
tritt dann die Beziehung beider Bilder auf ein und dasselbe Object ein un
stört den rein sinnlichen Eindruck. Aber auch ganz von selbst schwinde
die Erscheinung, sobald das Trugbild infolge der Ruhe des Auges in ein
ungünstige Phase des Wettstreits eintritt, wie dies oben erörtert wurde
Daher denn mancherlei sich vereinigt, um den Versuch zu stören. Überhaup
kann ich ihn nur denjenigen empfehlen, die grofse Übung im indirecte
Sehen haben und wirklich fest fixiren können, nicht blos es zu könne
glauben. Man lernt das feinste Doppelsehen nicht in einem Jahre, auc
nicht in zweien."

Einige Seiten vorher bemerkt Herr Hering hierher gehörig noch, inde
er die Störungen der Empfindung bei diesen Versuchen beschreibt: „Hierz
kommt nun noch, dafs bei irgend ausgedehnten Trugbildern der Wettstre
nicht immer in allen Theilen des Trugbildes gleiche Phasen zeigt, daf
vielmehr das Trugbild stückweise Sieger und Besiegter im Wettstreite ist
wodurch eine sichere und feste Localisation ganz unmöglich wird. Dränge
sich auf diese Weise Stücke des auf der betreffenden Deckstelle der ander
Netzhaut liegenden Bildes mit ihren entgegengesetzten Tiefenwerthen in da
Trugbild derart hinein, dafs sie gleichsam Bestandtheile desselben werde
so kann die Localisation sogar entgegengesetzt der *a priori* z
erwartenden ausfallen."

Diesem letzteren Theile der Beschreibung entspricht nun vollkomme
das, was ich selbst bei einer möglichst sorgfältigen und gewissenhaften An
stellung des Versuchs gesehen habe. Ich habe so fest und so lange di
Stecknadel fixirt, dafs mir schliefslich die negativen Nachbilder alles aus
löschten. Ich habe gesehen, dafs zu der Zeit, wo nur noch einzelne Theil
der Doppelbilder des Drahtes im Wettstreit mit dem correspondirende
Grunde und mit den Nachbildern zeitweilig nebelhaft auftauchen, sie bal
fern, bald nah erscheinen, das eine ebenso oft und ebenso energisch, wi
das andere; aber ich habe mich nicht überzeugen können, dafs dies übe
wiegend in dem Sinne der Hering'schen Theorie geschieht, und würde e
nie unternommen haben, aus einer an solchen halb erlöschenden Bilder
gemachten Beobachtung das Fundament für eine neue Theorie des Sehen
zu machen. Indessen gebe ich zu, dafs ich ungeschickt gewesen sein mag
nur wird Herr Hering entschuldigen müssen, wenn ich durch diesen ihn
selber so „zwingenden Beweis für die Richtigkeit der Theorie" mich nic
für überzeugt erklären kann.

d. Panum's Versuche über die stereoskopische Vereinigung zweier senk

chter Linien im einen Felde mit einer im andern finden leicht ihre rklärung, wie oben Seite 882 schon bemerkt ist. Ein solches Bild ist der chtige optische Ausdruck eines Linienpaares im Raume, von denen eine ir das eine Auge die andere deckt.

e. Wenn man nur ein Auge öffnet und mit dem anderen allein irgend ne zur Antlitzfläche senkrechte Ebene betrachtet, so müfste die schläfen-ärts gekehrte Seite derselben positive Tiefenwerthe haben, die nasenwärts kehrte negative, die Ebene sollte deshalb stark gegen die Gesichtslinie 816
neigt erscheinen. Dafs sie es nicht thut, erklärt Herr HERING dadurch, ifs wir der Erfahrung zulieb, die uns lehrt, wie die gesehene Ebene gegen nseren Körper liegt, die Kernfläche des Sehraums in unserer Anschauung ne Achtelswendung machen lassen, wodurch die richtige Lage der gesehenen äche wieder hergestellt werde.

Wir können den Versuch aber so modificiren, dafs diese Ausflucht geschnitten ist. Man nehme vor die Mitte des Gesichts einen schwarzen pierstreifen, dessen Breite der Distanz der Augen von einander gleich-mmt. Dann sieht das rechte Auge nur die rechte Hälfte der vorliegenden jecte, das linke nur die linke Hälfte. Das ganze Gesichtsfeld bis auf nen kleinen im Zerstreuungskreise der beiden Ränder des Papierstreifens genden mittleren Streifen wird monocular gesehen. Ein nennenswerther ettstreit zwischen dem Schwarz des Papiers und den hellen Bildern des mmers tritt bei hin und wieder wechselnder Richtung des Blicks nicht ı; keinerlei Augenbewegungen sind im Stande, das Urtheil über die wahre tfernung der gesehenen Objecte zu unterstützen. Eine Achtelswendung der rnfläche würde in diesem Falle die Schwierigkeit ebenfalls nicht heben. le Bedingungen also bei diesem Versuche scheinen mir dazu angethan, die n Herrn HERING supponirten Tiefengefühle rein zur Erscheinung kommen lassen, und man sollte erwarten, nun die beiden Theile der Wand an der elle, wo die Grenze der beiden Sehfelder liegt, sich unter einem ziemlich einen spitzen Winkel (der HERING'schen Theorie zufolge müfste dieser inkel dem Convergenzwinkel der Augen gleich sein) zusammenstofsen zu ıen, wie eine Messerschneide, die gegen den Beobachter gekehrt ist. von ist aber keine Spur zu sehen, die Wand erscheint ganz flach, gerade wie sie mit beiden Augen gesehen erscheint.

Die andern Täuschungen aber, die von der Abweichung der scheinbar rticalen Meridiane, der etwa vorhandenen Raddrehungsdifferenz beider gen und so weiter abhängen, sind bei diesem Versuche alle deutlich zu ıen. Soll nun die Erfahrung, dafs die Wand eben ist, die eine täuschende ıpfindung beseitigen? Warum beseitigt dann die andere Erfahrung, dafs horizontalen Linien der Wand alle gerade, ihre verticalen alle rallel sind, welche ich noch bis zu dem Augenblick, wo ich den Papier-irm vorschiebe, machen und fortsetzen kann, nicht auch die von der Rad-hung und der Abweichung der Meridiane abhängigen Täuschungen?

Auch selbst in Fällen, wo die Contouren der gesehenen Bilder vollkommen

denen eines objectiven Gegenstandes entsprechen, und also die Tiefengefühl
mit den mittels der Augenbewegungen zu machenden Beobachtungen sich i
vollkommener Übereinstimmung befinden, wie bei den pseudoskopischen Ve
suchen, kommen Tiefenwahrnehmungen nicht zu Stande, wenn die Schlag
schatten widersprechen; und der Zusammenhang der Körperform mit de
Schlagschatten ist doch gewifs ein Erfahrungsmoment. Und selbst, wenn di
Schlagschatten nicht widersprechen, sondern nur die Erinnerung an di
vorher gesehene wahre Form des pseudoskopisch betrachteten Körper
sind viele Leute, die auf die binoculare Parallaxe vielleicht wenig z
817 achten gewöhnt sind, gar nicht, manche erst nach längerer Betrachtun
bei wechselnder Blickrichtung im Stande, den pseudoskopischen Eindruc
zu erhalten.

Aus allen diesen Thatsachen folgt, dafs die Hering'schen Tiefengefühl nur wirken, wenn auch die durch die Erfahrung gegebenen Momente ein Tiefenwahrnehmung fordern, dafs sie spurlos verschwinden, sobald di erfahrungsmäfsige Auslegung der Gesichtserscheinungen, oder auch nur di Erinnerung an die Form des individuellen Objects widerspricht. Mufs ma daraus nicht schliefsen, dafs jene Tiefengefühle, wenn sie überhaupt existire mindestens so schwach und undeutlich sind, dafs sie gar keinen nennen werthen Einflufs den aus der Erfahrung genommenen Momenten gegenübe ausüben können, und dafs daher die Tiefenanschauung ohne sie ganz ebe so gut zu Stande kommen mufs als mit ihnen, beziehlich wider sie, wi es nach Hering's Annahmen geschehen soll?

Schliefslich führt uns dies auf eine letzte wesentliche Schwierigkeit, de noch keine nativistische Theorie der Raumanschauung entgangen ist, wen sie sich nicht ganz auf allgemeine Andeutungen beschränkte. Es mu nämlich in diesen Theorien immer vorausgesetzt werden, dafs wirklich vo handene Empfindungen durch eine Erfahrung, die sie als unbegründe nachweist, aufgehoben werden können. Dafür ist aber nicht ein einzige wohl constatirtes Beispiel da. Bei allen Sinnestäuschungen, welche durc anomal erregte Empfindungen hervorgerufen werden, wird die täuschend Empfindung nie beseitigt durch die widersprechende bessere Erkenntnifs de Objects und durch die Einsicht in die Ursache der Täuschung. Die Druck bilder, die feurigen Garben am Sehnerveneintritt, die Nachbilder u. s. w bleiben an ihrem scheinbaren Orte im Gesichtsfelde bestehen, ebenso g wie das von einem Spiegel entworfene Bild scheinbar hinter dem Spieg fortfährt gesehen zu werden, obgleich wir von allen diesen Erscheinunge sehr wohl wissen, dafs ihnen keine reelle Existenz zukommt. Es kann alle dings die Aufmerksamkeit abgelenkt sein und bleiben von Empfindunge die zu den Objecten der Aufsenwelt in gar keiner Beziehung stehen, wi zum Beispiel von den Empfindungen der schwächeren Nachbilder, de entoptischen Objecte und andern. Es können ferner mäfsig grofse Irrthüme in der Schätzung ihrer Intensität durch Contrast eintreten, oder wenn si

s gemeinschaftliche Wirkung zweier Objecte angeschaut werden, können e falsch an die beiden Objecte vertheilt werden, wie das bei den Contrast-rscheinungen vorkommt. Einer der Haupteinwürfe gegen die früheren ormen der empiristischen Theorie ist es ja immer gewesen, so lange man ewufste Schlüsse und Inductionsschlüsse noch nicht genügend unterschied, afs die Sinnestäuschungen durch die Einsicht in ihren Mechanismus und urch die entgegenstehende Erfahrung nicht aufgehoben werden. Was llte aus unseren Sinneswahrnehmungen werden, wenn wir die Fähigkeit itten, einen Theil derselben, der uns gerade nicht in den Zusammenhang nserer Erfahrungen pafste, nicht nur nicht zu beachten, sondern in sein egentheil zu verkehren?

Denken wir zum Beispiel an den Fall zweier seitlich von der Median-ene liegenden Doppelbilder ein und desselben Objects. Das eine löst nach ERING's Theorie eine positive Tiefenempfindung aus, das andere eine gative, und zwar nicht etwa eine von geringer Gröfse, sondern wie es 818
ine Theorie der stereoskopischen Phänomene voraussetzt, von sehr beträcht-her und sehr deutlich erkennbarer Gröfse. Aber weil wir wissen, dafs e Doppelbilder zu einander gehören und Bilder eines Objects in einer s mehr oder weniger gut bekannten Entfernung sind, sollen wir den nterschied ihrer Tiefenempfindungen gewöhnlich nicht erkennen, selbst nn wir darauf achten, ob das eine oder das andere etwa uns näher oder rner erscheine. Nun erzeuge man einmal einen schwachen Farben-terschied beider Bilder, indem man ein Auge vorher gegen eine Farbe nüdet oder es von der Seite her beleuchtet, so haben wir einen wirk-hen Unterschied der Empfindung beider Doppelbilder. Aber dieser Unter-hied tritt hervor, auch wenn er zu den allerschwächsten gehört, und ohne lfe des binocularen Contrastes vielleicht gar nicht wahrnehmbar ist, tzdem wir wohl wissen, dafs die beiden Bilder Bilder desselben Objectes d und also gleiche Farbe haben müssen, und trotzdem die Färbung keine ective, sondern eine subjective ist, und wir dies ebenfalls wissen.

Dann betrachte man das ganze System der Localisation, wie sie nach RING durch unmittelbare Raumempfindung ursprünglich gegeben ist. ch allen kleineren Verbesserungen, die man etwa noch daran anbringen nnte, um es der Wirklichkeit genauer anzupassen, würde es immer nur viel leisten können, dafs es eine richtige Localisation der Objecte für e einzige Stellung der Blicklinien gäbe. In allen unendlich vielen anderen len würde es mehr oder weniger falsch und durch Erfahrung zu ver-sern sein. Die hypothetischen Annahmen von HERING machen also vielleicht — die Erklärung der Gesichtswahrnehmungen in einem ein-nen Falle leichter, um sie in allen andern desto schwieriger zu machen; l jedenfalls mufs man schliefsen: Wenn die der Erfahrung entnommenen mente im Stande sind, die richtige Erkenntnifs der räumlichen Ver-tnisse selbst entgegenstehenden directen Raumempfindungen gegenüber zustellen, so müssen sie noch viel eher und leichter im Stande sein, die-

selben richtig erkennen zu machen, wenn keine solche Hindernisse zu überwältigen sind.[1]

Sobald wir dagegen alle Anschauung der Raumverhältnisse auf Erfahrung zurückführen, wie dies in der empiristischen Theorie geschieht, so kämpft in den Sinnestäuschungen niemals Empfindung gegen Erfahrung, sondern nur die eine Induction, welche unter gewissen beschränkten Bedingungen gewonnen ist, gegen die andere, die unter andern Bedingungen gewonnen ist. Wir haben es dann mit einem Kampfe gleichartiger Mächte zu thun und verstehen, dafs bald die eine Seite, bald die andere je nach den veränderten Umständen, oder auch beide wechselnd unter gleich bleibenden Umständen unterliegen können.

819 Ich erkenne aber durchaus an, dafs die hier discutirten Fragen noch nicht vollkommen spruchreif sind. Ich habe meinen eigenen Standpunkt theils wegen der Einfachheit der Erklärungen, die sich aus ihm ergeben, so gewählt, theils aber auch besonders aus methodologischen Rücksichten, indem ich es nämlich stets für rathsam halte, die Erklärungen der Naturprocesse auf die möglichst geringste Zahl und auf möglichst bestimmt gefafste Hypothesen zu bauen. Andererseits aber mufs ich doch auch sagen, dafs je mehr ich im Fortgang dieser Untersuchungen, die mich einen guten Theil meines Lebens hindurch beschäftigt haben, lernte, meine Augenbewegungen und meine Aufmerksamkeit mit freiem Willen zu beherrschen, es mir desto unzulässiger erschien, die wesentlichen Phänomene dieses Gebiets aus einem vorher schon gegebenen Nervenmechanismus erklären zu wollen.

Was die Unterschiede meiner hier gegebenen Darstellung, deren Wesentliches ich schon in einer populären Vorlesung im Jahre 1855 veröffentlicht habe, von anderen neueren Arbeiten betrifft, die auf der Grundlage einer empiristischen Theorie des Sehens fufsen, so habe ich für die Abmessung der räumlichen Verhältnisse des Sehfeldes sowohl als der Entfernung der gesehenen Objecte weniger Nachdruck auf die Muskelgefühle gelegt, als Wundt, weil ich dieselben aus den oben angeführten Gründen glaube für ziemlich ungenau und veränderlich halten zu müssen. Ich habe vielmehr die hauptsächlichsten Abmessungen des Sehfeldes aus der Deckung verschiedener Bilder mit denselben Netzhauttheilen hergeleitet. Wundt hat namentlich die hierher gehörigen psychischen Phänomene einer ausführlichen und sehr dankenswerthen Bearbeitung unterworfen. Einzelne Beobachtungen, in denen ich von ihm abweiche, sind oben notirt.

A. Nagel erklärt die Entstehung der binocularen Doppelbilder aus der Annahme, dafs beide Augen ihre Netzhautbilder auf zwei verschiedene Kugelflächen nach aufsen projicirten. Der Mittelpunkt dieser Kugelflächen wird im Kreuzungspunkt der Visirlinien des entsprechenden Auges angenommen, und beide Kugelflächen sollen sich im Fixationspunkte schneiden. Dabei mufs also eigentlich jeder Punkt, der nicht in den

[1] Ich wünsche, dafs man diese Kritik, die ich im Interesse der Sache gegen Herrn E. Hering's Ansichten zu richten gezwungen bin, nicht als einen Ausdruck persönlicher Gereiztheit wegen der Angriffe ansehen möge, die er gegen meine Arbeiten gerichtet hat. Ich glaube, dafs der Standpunkt einer nativistischen Theorie des Sehens, auf den sich Herr Hering gestellt hat, einen consequent denkenden Kopf ziemlich nothwendig zu der Art von Hypothesen führen mufste, welche seiner Theorie zu Grunde liegen; und ich habe die Angriffe speciell gegen seine Ansichten gerichtet, weil sie mir die klarste und consequenteste Durchführung der nativistischen Theorie zu enthalten schienen, die zur Zeit noch möglich ist. Die Einwürfe, welche Herr Hering gegen meine Arbeiten gemacht hat, habe ich im Laufe dieser letzten Abtheilung zu beantworten gesucht, so weit sie sachliches Interesse haben. Die, welche nur persönliches Interesse haben, habe ich vorgezogen unerwähnt zu lassen, aufser, wo ich anerkennen mufste, dafs Herr Hering Recht gehabt hat.

chnittlinie beider Kugeln liegt, in Doppelbildern erscheinen. Diese Projectionen enkt sich NAGEL nun von dem Halbirungspunkt der Verbindungslinie beider Augen-ittelpunkte aus angesehen, und je nachdem sich dabei die Doppelbilder decken, oder kreuzt oder gleichseitig neben einander liegend erscheinen, sollen sie es auch im esichtsfelde thun.

NAGEL's Theorie kommt zwar der Wahrheit schon ziemlich nahe; aber einmal ist e etwas künstlich, da sie eine doppelte Projection voraussetzt, zweitens fehlt in Wirklich-eit die Anschauung einer verschiedenen Entfernung der beiden Doppelbilder, welche AGEL's Theorie in den meisten Fällen fordert; endlich würde ihr zufolge die Lage der nfach gesehenen Bilder nicht immer genau mit der Wirklichkeit stimmen. Übrigens ist es wohl der einzige wesentliche Punkt, in welchem meine oben gegebene Theorie von r NAGEL's abweicht.

Die richtige Theorie der Doppelbilder und ihrer Lage wurde dagegen von A. CLASSEN geben, wenn auch dabei mit Unrecht die factische Richtigkeit der von HERING gegebenen Phänomene, welche sich auf das scheinbare Centrum der Richtungslinien tten zwischen beiden Augen beziehen, geleugnet ist. Ich selbst bin zwar, ebenso enig wie Herr CLASSEN, geneigt, diese Erscheinung zur Grundlage aller unserer Locali-tionen zu machen, und halte sie nur für eine nebenher gehende Sinnestäuschung, die i mir selbst auch für das rechte und linke Auge in verschiedenem Grade stattfindet d durch geschärftere Aufmerksamkeit überwunden werden kann; aber es ist eine uschung, die wirklich besteht.

Eine wesentlichere Abweichung zwischen der von mir gegebenen Darstellung der eorie und CLASSEN's ist, dafs er den Ortssinn der Netzhaut und die Projection in das hfeld als ursprünglich gegeben und nicht erworben betrachtet. Wenn aber die Lage r einzelnen Netzhautpunkte zu einander durch eine angeborene Empfindung gegeben 820
, dann ist auch die Identität correspondirender Punkte angeboren, da deren gleiche ge gegen den Blickpunkt dann ebenfalls ursprünglich in der Empfindung gegeben sein fs. Es hat diese Abweichung indessen auf die Darstellung derjenigen Capitel des hens, die CLASSEN ausführlich behandelt, namentlich die Lehre vom Muskelsinn und m Binocularsehen, keinen Einflufs, und es finden sich bei ihm eine grofse Menge eressanter Erläuterungen aus der pathologischen Beobachtung für die vorgetragenen ysiologischen Lehren.

Die der empiristischen Theorie sich anschliefsenden Ansichten von H. MEYER, NDERS, VOLKMANN, A. FICK, einzelne Theile der Theorie betreffend, sind jede an ihrer lle erwähnt worden.

Sach- und Namenregister.

Sach-Register.

(Die Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.)

A.

B.

C.

D.

E.

F.

G.

H.

I.

K.

L.

M.

N.

O.

P.

Q.

R.

S.

T.

U.

V.

W.

Z.

Namen-Register.

(Die Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.)

A.

B.

C.

D.

E.

F.

G.

H.

J.

K.

L.

M.

N.

O.

P.

Q.

R.

S.

T.

U.

V.

W.

Y.

Z.

Berichtigungen.

Von Arthur König.

28, Z. 15 v. o. mufs b statt γ stehen.
76, „ 2 „ „ „ $tg\ \alpha_1$ statt $tg\ \alpha_2$ stehen.
78 mufs in Gleichung 11b) im Zähler auf der rechten Seite $(d - f_2)$ statt $(d - f_1)$ stehen.
13 mufs die letzte Gleichung lauten:

$$J = \frac{n_2^2}{n_1^2} \cdot H \cdot \frac{Q}{R^2}$$

20, Z. 9 v. u. mufs Convexspiegel statt Concavspiegel stehen.
58, „ 1 „ „ „ *Pfeuffer* statt *Pflüger* stehen.
60, „ 21 „ o. „ stehen $2 . s^2 \sqrt{3}$ statt $2 . 5^2 \sqrt{3}$.
18, „ 1 „ u. „ *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane.* Bd. IV. S. 241 1893 statt *Wied. Ann.* 33. 1887 stehen.
10, Z. 7 v. u. mufs statt $\varphi . (\alpha - J)^2$ stehen $\varphi . (\alpha - J)^2 . \alpha$.
„ „ 3 „ „ ist in dem unter dem Integralzeichen im Zähler stehenden Ausdrucke der Factor $(\alpha - J)^2$ zu streichen. Bei der Herausgabe seiner gesammelten wissenschaftlichen Abhandlungen (Bd. III. S. 396) hat H. v. Helmholtz die hier durchgeführte Rechnung beträchtlich umgestaltet, ohne jedoch zu einem wesentlich verschiedenen Resultate zu kommen.
61, Z. 11 v. u. bis S. 462, Z. 4 v. o. mufs nach einer Berichtigung, welche H. v. Helmholtz (*Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane.* Bd. III. S. 517) im Jahre 1892 veröffentlicht hat, ersetzt werden durch Folgendes:

„während die dritte den beiden Klassen der Dichromaten und den normalen Trichromaten gemeinsame Grundempfindung $\mathfrak{B} = V$ ist.

Um nun zu ermitteln, ob diese Grundfarben $\mathfrak{R}$ und $\mathfrak{G}$ aufserhalb oder innerhalb des nach den Unterschiedsempfindlichkeiten berechneten neuen Farbendreiecks liegen, mufs man die Werthe der x, y, z als Functionen der $\mathfrak{R}, \mathfrak{G}, \mathfrak{B}$ ausdrücken. Wenn man zwei von diesen letzteren Gröfsen gleich Null setzt und die dritte übrig bleibende dann negative Werthe einer der x, y, z ergiebt, so liegt die betreffende Farbe aufserhalb des Dreiecks $[x, y, z]$.

Aus den eben angeführten Werthen für $\mathfrak{R}, \mathfrak{G}, \mathfrak{B}$ folgt

$$\begin{aligned} R &= 0.9157 . \mathfrak{R} + 0.1807 . \mathfrak{G} - 0.0963 . \mathfrak{B} \\ G &= -0.2289 . \mathfrak{R} + 1.2048 . \mathfrak{G} + 0.0241 . \mathfrak{B} \\ V &= \mathfrak{B} \end{aligned}$$

Setzt man diese Werthe in die obigen Gleichungen 9a ein, so ergiebt sich

$$\begin{aligned} x &= 0.810 . \mathfrak{R} - 0.280 . \mathfrak{G} + 0.470 . \mathfrak{B} \\ y &= 0.159 . \mathfrak{R} + 0.466 . \mathfrak{G} + 0.376 . \mathfrak{B} \\ z &= 0.200 . \mathfrak{R} + 0.196 . \mathfrak{G} + 0.604 . \mathfrak{B} \end{aligned}$$

Daraus geht hervor, dafs, wenn $\mathfrak{R} = \mathfrak{B} = 0$ und nur die Farbe $\mathfrak{G}$ übrig bleibt, diese in der That einen negativen Werth des x hat, und aufserhalb des Farben-

dreiecks $[x, y, z]$, jenseits seiner grün-blauen Seite liegt, während die beiden andere Grundfarben 𝔑 und 𝔅 im Inneren des Dreiecks liegen. Das Roth indessen lieg der Grundfarbe x nahe genug, dafs bei kleinen Aenderungen der zu Grund liegenden Beobachtungszahlen es leicht an den Rand des Dreiecks oder in seine rothe Ecke rücken könnte, wie es die hier vorgetragene Theorie fordert."

S. 462. Die angegebene Uebereinstimmung der beiden aus zwei gänzlich verschiedener Klassen von Beobachtungsdaten berechneten Werthe von dE ist hier nur, wie H. v. Helmholtz noch selbst gefunden (*Wissenschaftl. Abhandl.* III. S. 458—459) durch ein Versehen vorgetäuscht worden. Die beiden rechnungsmäfsig richtiger Werthe sind 0.0300 und 0.0166.

Ich möchte hier noch bemerken, dafs H. v. Helmholtz die an dieser Stelle berechnete spectrale Vertheilung der Grundempfindungen nur als Beweis für die Brauchbarkeit der von ihm aufgestellten erweiterten Form des psychophysischen Gesetzes betrachtete und das specielle Resultat der Rechnung schon von vornherein als sehr unsicher ansah. Er kam immer mehr zu der Ueberzeugung, daf man auf Grund besseren Beobachtungsmateriales auch unter strenger Festhaltung des hier aufgestellten Principes zu Ergebnissen kommen würde, welche mit der in § 20 (auf Grund der von Hrn. C. Dieterici und mir ausgeführten Messungen angenommenen spectralen Vertheilung der Grundempfindungen im Wesentlichen übereinstimmen.

„ 566 ist durch ein Versehen am Schlufs des § 24 folgender Passus ausgefallen:

„Die Veränderungen der einzelnen Farben bei ihrer Zusammenstellung mit anderen beschrieb Chevreul[1] genau. Die complementären Spiegelbilder an gefärbten Glasplatten wurden von Brandes[2] und Osann beschrieben; die beste Form gab Dove[3] diesem Versuch, welche später Ragona Scina[4] noch abänderte. Die Fälle wo das inducirte Feld dem inducirenden gleich gefärbt wird, fanden Fechner und Brücke.[5] Dafs ein schwacher Unterschied der Farben vortheilhafter sei als ein starker, zeigte H. Meyer.[6] Uebrigens schlossen sich die neueren Beobachter fast alle der Ansicht von Plateau an, dafs der Contrast auf einer Veränderung der Empfindung beruhe. Ich selbst habe im vorliegenden Paragraphen die verschiedenen concurrirenden Ursachen vollständiger als bisher zu trennen gesucht und mich bemüht, zu zeigen, dafs der reine simultane Contrast auf einer Veränderung der Empfindung, nicht der Beurtheilung beruhe."

---

[1] Chevreul, *Mém. de l'Acad.* XI. 447—520.
[2] Brandes, *Gehler's neues Wörterbuch.* Art.: Farbe. IV. 124.
[3] Dove, *Pogg. Ann.* XLV. 158.
[4] Ragona Scina, *Racc. fisico-chimica.* II. 207.
[5] Brücke, *Denkschr. d. Wien. Acad.* III. 1850. Oct. 3.
[6] H. Meyer, *Pogg. Ann.* XCV. 170.

Uebersicht

über die

gesammte physiologisch-optische Litteratur

bis zum Schlusse des Jahres 1894.

Vorbemerkung.

Bei der Benutzung der Litteratur-Uebersicht ist Folgendes zu beachten.

Wenn bei Zeitschriften die Bandzahl fehlt, so steht die citirte Abhandlung in m Jahrgang, unter dem sie eingeordnet ist.

Wird eine in einem bestimmten Jahre erschienene Abhandlung gesucht, so ſs stets das voraufgehende, wie auch das nachfolgende Jahr durchgesehen werden, eine genaue Einordnung nicht immer möglich war, indem oftmals der Titel es Zeitschriftbandes eine andere Jahreszahl trägt, als diejenige, unter der die zelnen Hefte erschienen sind.

Die Grenze zwischen „älterer“ und „neuerer“ Litteratur, deren Trennung in nchen Paragraphen ausgeführt werden mufste, bildet in den meisten Fällen das r 1866. Da, wo sie aus besonderen Gründen anders liegt, genügt zur schnellen entirung ein Blick auf die vorangestellten Jahreszahlen.

Die bei den Zeitschrifttiteln benutzten Abkürzungen sind zwar nicht gleich- ſsig durchgeführt, aber stets so gewählt, dafs für jeden auch nur einigermafsen eraturkundigen kein Zweifel möglich sein wird.

Die ausländische Litteratur liefs sich leider nicht so vollständig zusammen- len wie die deutsche; die meisten Lücken werden sich in den Angaben fremd- chlicher Uebersetzungen deutscher Werke finden.

Bei Werken, welche in zahlreichen Auflagen erschienen sind, war es nicht er möglich, alle Auflagen anzuführen; doch ist fast ausnahmslos die erste und e Auflage angegeben.

Inhaltsverzeichnifs zur Litteraturübersicht.

I.

Werke, welche die gesammte physiologische Optik, grössere Abschnitte oder allgemeine Principien derselben behandeln.

1600.

1. Fabricius ab Aquapendente *De visione.* Ven.

1604.

2. J. Kepler. *Paralipomena ad Vitellionem.* Frankf. Cap. 5.

1613.

3. Franciscus Aguilonius. *Opticorum libri sex.* Antwerpiae.

1619.

4. Scheiner. *Oculus sive fundamentum opticum, in quo radius visualis eruitur, sive visionis in oculo sedes cernitur et anguli visorii ingenium reperitur.* Oenip.

1669.

5. F. A. Jan et W. Küffner. *De visu.* Lipsiae.

1686.

6. G. Briggs. *Ophthalmo-graphia, sive oculi ejusque partium descriptio anat., nec non, ejusdem nova visionis theoria.* Lugduni Batavorum.

1687.

7. Fabricius ab Aquapendente. *Opera omnia anatomica et physiologica.* Lipsiae. S. 187—248.

1738.

8. J. Jurin. *Essay upon distinct and indistinct vision.* In: R. Smith: A complete system of optics. Cambridge 1738. (Deutsch von Kästner. Altenburg 1755.)

1740.

9. Le Cat. *Traité des sens.* Rouen. 1740. — Amsterdam 1744.

1746.

0. P. Camper. *Dissert. de visu.* Lugd. Batav.

1758.

1. J. T. C. Grimm. *De visu.* Gottingae.

1759.

2. Porterfield. *Treatise on the eye, the manner and phaenomena of vision.* Edinb.

1761.

3. A. Kircher. *Ars magna lucis et umbrae in decem libros digesta.* Amstellodami.

1766.

4. A. Haller. *Elementa physiologiae corporis humani.* Lausanne 1757—1766.

1771.

5. J. F. Haeseler. *Betrachtungen über das menschliche Auge.* Hamburg.

1776.

6. Priestley. *Geschichte der Optik.* Aus dem Englischen übersetzt, mit Anmerkungen und Zusätzen von Klügel. Leipzig.

1778.

17. A. Haller. *De functionibus corporis humani praecipuarum partium.* Bern 17[illegible] bis 1778.

1780.

18. Elliot. *Observations on the senses.* 1780. Deutsche Übers.: *Beobachtungen über d[illegible] Sinne.* Leipzig 1785.

1819.

19. J. Purkinje. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* Bd. [illegible] *Beiträge zur Kenntnifs des Sehens in subjectiver Hinsicht..* Prag.

1802.

20. J. G. Markwort. *Beweis der Activität des Sinnes des Gesichts.* Leipzig.

1822.

21. A. E. Rödenbeck. *Quaedam ad theoriam visus pertinentia.*

1823.

22. L. C. A. Nilson. *Katechismus der Licht- oder Seh-Lehre.* Leipzig.

1825.

23. J. Purkinje. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* Bd. I[illegible] *Neue Beiträge zur Kenntnifs des Sehens in subjectiver Hinsicht.* Berlin.

24. Lehot. *Nouvelle théorie de la vision.* Paris.

1826.

25. J. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes.* Leipzig.

1827.

26. Tourtual. *Die Sinne des Menschen.* Münster.

1828.

27. Muncke. Artikel: *Gesicht und Sehen* in Gehler's physikalischem Wörterbuch[illegible] Leipzig.

1830.

28. A. Hueck. *Das Sehen seinem äufseren Processe nach.* Dorpat u. Göttingen.

1831.

29. D. Brewster. *A treatise on optics.*

1832.

30. F. Arnold. *Anatomische und physiologische Untersuchungen über das Auge d[illegible] Menschen.* Heidelberg und Leipzig.

1834.

31. C. M. N. Bartels. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes.* Berlin.

1836.

32. A. W. Volkmann. *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig.

1837.

33. J. Müller. *Handbuch der Physiologie des Menschen.* Coblenz. Bd. II. S. 276—393.

1839.

34. F. W. G. Radicke. *Handbuch der Optik.* Bd. II. S. 211—281.

1842.

35. Burow. *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* Berlin.

1844.

36. Moser. *Über das Auge.* Dove's Repertorium der Physik. Berlin. Bd. V.

1845.

37. Th. Ruete. *Lehrbuch der Ophthalmologie.*

1846.

38. A. W. Volkmann. Artikel: *Sehen* in R. Wagner's Handwörterbuch d. Physiologie[illegible] Braunschweig.

1847.

39. A. S. Fiedler. *De sensu videndi.*

1847—53.

40. E. Brücke. *Berichte über physiologische Optik in:* Fortschritte der Physik. Berli[illegible] G. Reimer. Bd. I—V.

1852.

41. C. Ludwig. *Lehrbuch der Physiologie des Menschen.* Heidelberg. Bd. I. S. 192—263.

1853.

42. C. Stellwag von Carion. *Die Ophthalmologie vom naturwissenschaftlichen Stand-punkte aus.* 2 Bände. Erlangen 1853—1858.

1854.

Th. Ruete. *Lehrbuch der Ophthalmologie.* 2. Aufl.

L. L. Vallée. *Cours complet sur la vision de l'homme et des animaux.* Paris.

1856.

A. Fick. *Die medicinische Physik.* Braunschweig.

1861.

C. S. Cornelius. *Die Theorie des Sehens und räumlichen Vorstellens.* Halle.

1865.

H. Aubert. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau.

H. Scheffler. *Die physiologische Optik.* 2 Bde. Braunschweig.

1866.

A. Fick. *Die medicinische Physik.* 2. Aufl. Braunschweig.

1867.

A. v. Graefe. *Sehen und Sehorgan.* Berlin.

H. Helmholtz. *Handbuch der physiologischen Optik.* Leipzig. (In Lieferungen erschienen während der Jahre 1856—1867.)

1868.

A. Classen. *Gesammelte Abhandlungen über physiologische Optik.* Berlin.

H. Helmholtz. *Optique physiologique traduit par Javal et Klein.* Paris.

— *Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens.* Preufsische Jahrbücher. XXI. S. 149—171., S. 263—290 u. S. 403—435. (Abgedruckt in: Vorträge und Reden. Bd. I. Braunschweig. 1884.)

1869.

F. Cohn. *Licht und Leben.* Berlin.

H. Gerold. *Die ophthalmologische Physik und ihre Anwendung auf die Praxis.* 2. Thle. Wien. (1869 u. 1870.)

A. Rabuteau. *Des Phénomènes phys. de la Vision.* Paris.

1871.

J. Bernstein. *Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Nerven- und Muskelsystem.*

1872.

H. Kaiser. *Compendium der physiologischen Optik für Mediciner und Physiker.* Wiesbaden, J. F. Bergmann. 368 S.

1873.

Gerstenberg. *Randglossen zur Theorie des Sehens.* Progr. d. Realschule zu Osnabrück. 1872/73.

J. v. Hasner. *Beiträge zur Physiologie und Pathologie des Auges.* Prag.

1874.

Wundt. *Grundzüge der physiologischen Psychologie.* Leipzig.

A. Vulpian. *Note relative à l'influence de l'exstirpation du ganglion cervical supérieur sur les nouvements de l'iris.* Arch. de physiol. S. 177.

1875.

J. Bernstein. *Fünf Sinne des Menschen. II. Der Gesichtssinn.* S. 46—153. Internat. wiss. Biblioth. XII. Bd. Leipzig. Brockhaus.

J. Delboeuf. *Théorie générale de la sensibilité.* Paris.

1876.

H. Aubert. *Grundzüge der physiologischen Optik.* Gräfe-Sämisch, Handb. d. ges. Augenheilkde. II. Cap. 9. Leipzig. (Auch separat.)

A. Classen. *Zur Physiologie des Gesichtssinnes.* (Sammlung physiologischer Abhandlungen, herausg. von W. Preyer. 1. Reihe. 1. Heft.) Jena.

— *Physiologie des Gesichtssinnes dargestellt auf Grundlage I. Kant's.* Braunschweig. 1876. Vieweg.

Delboeuf. *Théorie générale de la sensibilité.* Bruxelles.

H. Hartshorne. *On some disputed points in physiological optics.*

H. Helmholtz. *Optisches über Malerei.* Popul.-wissensch. Vorträge. III. S. 55—97. Abgedruckt in: Vorträge und Reden. Bd. II. Braunschweig. 1884.

J. L. S. Joly. *Théorie physique de la vision.* Paris.

H. Magnus. *Das Auge in seinen ästhetischen und culturhistorischen Beziehungen.* Breslau. 1876. 158 S.

1877.

74. M. Edwards. *Du sens de la vue.* Paris. Masselon. 1877.

1878.

75. R. E. Dudgeon. *The human Eye.* London, Hardwicke u. Bogue. 92 S.
76. Giraud-Teulon. *L'oeil, notions élémentaires etc.* 2. Aufl. Paris, Ballière. 173 S

1879.

77. A. Fick, W. Kühne und E. Hering. *Physiologie des Gesichtssinnes.* Handb. d. Physiol. Herausg. v. L. Hermann. III. Bd. 1. Theil. Leipzig.
78. A. v. Graefe. *Sehen und Sehorgan.* Vortrag. 2. Aufl. Berlin. Habel. 47 S.
79. H. Knapp. *Die geschichtliche Entwickelung der Lehre vom Sehen.* Wiesbaden Bergmann.

1880.

80. A. Alt. *Lectures on the human eye in its normal and pathological condition* New-York. Putmam's Son. 1880.
81. J. Bernstein. *Das Lichtbild und das Auge.* Natur u. Cultur. § 11. S. 168—19 Leipzig, Albrecht. 1880. 300 S.
82. M. A. Isignonis. *Die Theorie des Sehens und der Sinne überhaupt bei Aristotele* Diss. Basel. 59 S.
83. Wundt. *Grundzüge dir physiologischen Psychologie.* 2. Aufl. Leipzig.

1881.

84. L. Besser. *Was ist Empfindung?* Bonn.
85. G. B. Bono. *Di un estremo d'ottica fisiologica; studio su un vecchio di 104 ann* Arch. per l'antrop. XI. S. 133.
86. H. P. Bowditch. *A comparison of sight and touch.* Journ. of Physiol. II S. 232—245.
87. A. Goldscheider. *Die Lehre von den specifischen Energien der Sinnesorgane.*
88. J. Hoppe. *Psychologisch-physiologische Optik in experimenteller psychophysisch Darstellung.* Leipzig. Wiegand. 371 S.
89. Szokalski. *Die Folgen der Sehnervenreizung.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkd. V. S. 383.

1882.

90. Bowditsch und Souchard. *A comparison of sight and touch.* Journ. of phy III. 3. S. 1.

1883.

91. J. le Conte. *Die Lehre vom Sehen.* Internat. wiss. Bibliot. LV. Leipzig. XI S. 261.
92. V. Urbantschitsch. *Zur Lehre von den Sinnesempfindungen.* Wien. me Wochenschr. XXXIII. S. 554.

1884.

93. G. Löcherer. *Das Auge und das Sehen.* Nach Dr. Carter's Eyesight. Berli 210 S.

1885.

94. J. Rosenthal. *Die specifischen Energien der Nerven.* Biol. Centralbl. IV. No. 2—

1886.

95. Javal. *Vision.* Nouv. dict. de méd. et chir. prat. Paris. XXXIX. S. 516.
96. E. Mach. *Beiträge zur Analyse der Empfindungen.* Jena, Fischer. 168 S.

1887.

97. W. Wundt. *Grundzüge der physiologischen Psychologie.* 3. Aufl. Leipzig.

1888.

98. Grandclément. *L'oeil et le sens de la vue.* Paris. Asselin et H. 1888.

1890.

99. E. Wiedemann. *Zur Geschichte der Lehre vom Sehen.* Wiedemann's Ann. XXXI S. 470—474.

1891.

100. G. Hirth. *Aufgaben der Kunstphysiologie.* München. Hirth. 1891. In 2 Theile 611 S.

1893.

101. W. Wundt. *Grundzüge der physiologischen Psychologie.* 4. Aufl. Leipzig.

1894.

02. K. Lasswitz. *Ueber psychophysische Energie und ihre Faktoren.* Arch. f. systemat. Philos. I. 1.

03. Th. Young. *Oeuvres ophthalmologiques.* Französisch von Tscherning. Kopenhagen. Höst u. Sön. 248 S.

II.

Tractus opticus und Gehirnlocalisation, soweit sich diese auf den Gesichtssinn bezieht.

Hinsichtlich weiterer Litteraturangaben mufs auf die Zuammenstellungen in den entsprechenden physiologischen Werken verwiesen werden.

1876.

4. F. Goltz u. E. Gergens. *Ueber die Störungen des Sehvermögens nach Verstümmelung des Grofshirns.* Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. 15—27. XIV. 416—420.

5. F. Plenk. *Ueber Hemiopie und Sehnervenkreuzung.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. V. S. 140—158.

1877.

6. M. Duval. *Relations de la sixième et de la troisième paire des nerfs crâniens.* Gaz. d. hôp. S. 1115.

1878.

7. L. Luciani u. A. Tamburini. *Sulle funzioni del cervello. Ric. sperim. sui centri psico-motori corticali.* Reggio-Emilia. 1878. S. 35.

1879.

8. Curschmann. *Ueber die centralen Centren des Gesichtssinnes.* Centralbl. f. Augenheilkde. III. Juni. S. 181.

9. M. Duval. *Der wahre Ursprung der motorischen Nerven des Auges.* Gaz. hebdom. 1879. No. 27.

0. Cl. Gallopain. *Le Pli Courbe n'est ni le siège de la perception des impressions visuelles ni le centre des mouvements des yeux.* Ann. méd.-psychol. (6). II. 2. S. 177—188.

1. F. Goltz. *Ueber die Verrichtungen des Grofshirns. 3. Abth.* Arch. f. d. ges. Physiol. XX. 1. S. 1—54.

2. L. Luciani u. A. Tamburini. *Sui centri psicosensori corticali.* Mailand.

3. Moeli. *Versuche an der Grofshirnrinde des Kaninchens.* Virchow's Arch. LXXVI. 3.

4. H. Munk. *Physiologie der Sehsphäre der Grofshirnrinde.* Arch. f. Anat. u. Physiol. III. S. 581—592. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. III. S. 255—266.

5. J. Stilling. *Notiz über die Bedeutung der Occipitallappen des Gehirns für das Sehen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. III. S. 33—34.

1880.

6. Blaschko. *Das Sehcentrum bei Fröschen.*

7. H. Munk. *Ueber die Sehsphären der Grofshirnrinde.* Mon.-Ber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 3. Juni. S. 485.

8. — *Ueber die Sehsphäre und die Riechsphäre der Grofshirnrinde.* Arch. f. Anat. u. Physiol. IV. S. 149—156.

[illegible]. — *Weiteres zur Physiologie der Sehsphäre.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 28.

[illegible]. Schneller. *Ueber den Sitz der Farbenempfindung.* Deutsch. med. Wochenschr. No. 42. — Tagebl. d. Vers. d. Naturf. u. Aerzte in Danzig. Ophthalm. Sect. S. 108 u. 254.

121. C. Wernicke. *Die besonderen Verhältnisse der Projection, die, nach Munk Thierversuchen zu schliefsen, für die Sehsphären des Menschen gelten müfste* Verhandl. d. Berl. physiol. Ges. No. 2/3. S. 12. Arch. f. Anat. u. Physio Suppl.-Bd. 1880. S. 184—186.

1881.

122. F. C. Dalton. *Centres of vision in the cerebral hemispheres.* Med. Rec. XI 13. (No. 542.) S. 337.
123. S. Exner. *Untersuchungen über die Localisation der Functionen in der Grofshirn rinde des Menschen.* Wien. 1881. 180 S.
124. F. Goltz u. D. Ferrier. *On the localisation of function in the cortex cerebr* Internat. med. Congr. in London. I. 218—243.
125. H. Munk. *Zur Physiologie der Grofshirnrinde.* Arch. f. Anat. u. Physio S. 455—459. — Erlenmeyer's Centralbl. f. Nervenheilkde. S. 388.
126. — *Funktionen der Grofshirnrinde.* Berlin, Hirschwald.
127. J. Samelsohn. *Zur Frage des Farbensinncentrums.* Centralbl. f. d. med. Wis No. 47. 50.
128. Tamburini. *On cerebral localisation and hallucinations.* Transact. of the intern med. Congr. in London. Psychiatr. Sect. III. S. 631.
129. V. Urbantschitsch. *Beobachtung von physiologischer Seelenblindheit.* Wien. mec Jahrb. S. 543.

1882.

130. N. E. Brill. *A case of destructive lesion of the cuneus, accompanied by colo blindness.* Americ. Journ. Neurol. u. Psychiatr. New-York. I. S. 356.
131. — *Color-blindness from a cerebral lesion.* Chicago M. Rev. V. S. 162.
132. F. C. Dalton. *Centres of vision in the cerebral hemispheres.* Med. Rec. XI 13. S. 337.
133. Dickinson. *Optic chiasma-visual centres.* The Alienist and Neurologist. S. 35
134. Dreschfeld. *A further contribution on the course of the optic nerve fibres in th brain.* Brain. V. S. 118.
135. J. Gad. *Ueber einige Beziehungen zwischen Nerv, Muskel und Centrum.* Festschrift zu dritten Säcularfeier der Alma Julia Maximiliana, gewidmet von der medicinische Facultät Würzburg. Bd. II. S. 43.
136. W. J. Mickle. *Localisation of the visual centres of the central cortex.* Me Times and Gaz. No. 1648. 16. Januar.
137. Parinaud. *Du siège cérébral des images accidentelles ou consécutives.* Soc. de Bio Sitzg. v. 22. April. Gaz. des Hôp. S. 459.
138. — *Des rapports croisés et directs des nerfs optiques avec les hémisphère cérébrales.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 10. S. 179.
139. Samelsohn. *Seelenblindheit beim Menschen.* Berl. klin. Wochenschr. No. 20.
140. Schneller. *Zur Frage vom Farbensinncentrum.* Arch. f. Ophthalm. XXVIII. (3 S. 73.
141. V. Urbantschitsch. *Ueber den Einflufs von Trigeminusreizen auf die Sinnesempfin dungen, insbesondere auf den Gesichtssinn.* Arch. f. d. ges. Physiol. XXX. S. 12

1883.

142. W. v. Bechterew. *Experimentelle Ergebnisse über den Verlauf der Sehnervenfaser und ihrer Bahn von den Kniehöckern an den Vierhügeln.* Neurol. Centralbl. No. 1
143. — *Ueber den Verlauf der die Pupille verengenden Nervenfasern und über die Locali sation eines Centrums für die Iris und Contraction der Augenmuskeln.* Arch. f d. ges. Physiol. XXXI. S. 60.
144. — *Ueber die Localisation des Centrums der Pupillenbewegung.* Wratsch. No. 1
145. — *Ueber die Function der Sehhügel.* Wratsch. No. 4 u. 5. Neurol. Centralb
146. — *Zur Physiologie des Körpergleichgewichts. Die Function der centralen grauc Substanz des dritten Hirnventrikels.* Arch. f. d. ges. Physiol. XXXI. S. 479.
147. Bellonci. *Les lobes optiques des oiseaux.* Arch. Ital. de Biol. IV. S. 21.
148. J. Delboeuf. *Un nouveau centre de vision dans l'oeil humain.* Rev. Scienti XXXII. S. 167.
149. C. v. Monakow. *Experimentelle und pathologisch-anatomische Untersuchungen über di Beziehungen der sog. Sehsphäre zu den infracorticalen Opticuscentren und zun Nervus opticus.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XIV. S. 699.

0. C. v. Monakow. *Des centres d'origines des nerfs optiques et de leur relation avec l'écorce cérébrale.* Soc. helvét. des sc. nat. Zürich. 1883. Arch. des sc. phys. et nat. 1883. S. 133.
1. H. Munk. *Ueber die centralen Organe für das Sehen und Hören bei den Wirbelthieren.* Sitzgs.-Ber. d. preufs. Akad. d. Wiss. Berlin. XXXIV. 12. Juli.
2. A. Nieden. *Zur Lage des Sehcentrums beim Menschen.* Ber. d. XV. Vers. d. ophthalm. Ges. S. 4.
3. L. Ranney. *The corpora quadrigemina, with remarks concerning the diagnosis and localization of lesions affecting sight.* New-York. 33 S.

1884.

4. Anaglino. *Riassunto delle attuali nostri cognizioni sui rapporti dell' apparecchio visivo coi centri nervosi.* Ann. di Ottalm. S. 3.
5. A. Angelucci. *Sul decorso delle fibre nel chiasma dei mammiferi e sul centro visivo delle corteccie cerebrali.* Gaz. med. di Roma. X. 20.
6. W. v. Bechterew. *Ueber die nach Durchschneidung der Sehnervenfasern im Innern der Grofshirnhemisphären auftretenden Veränderungen.* Neurol. Centralbl. S. 1.
— *Ueber die Function der Vierhügel.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIII. S. 413.
Belloxci. *La terminaison centrale du nerf optique chez les mammifères.* Arch. Ital. de Biol. S. 405.
Bianchi. *Sur les compensations fonctionnelles de l'écorce cérébrale.* Arch. Ital. de Biol. S. 291.
P. Bunge. *Ueber Gesichtsfeld und Faserverlauf im optischen Leitungsapparat.* Halle. 36 S. Habilit.-Schr.
S. M. Burnett. *Are there separate centres for light-, form- and color-perception.* Arch. of Med. New York. Vol. XII. No. 2. S. 97.
A. Christiani. *Zur Physiologie des Gehirns.* Verh. d. physiol. Ges. zu Berlin. 1883/84. No. 15 u. 16.
— *Zur Kenntnifs der Functionen des Grofshirns beim Kaninchen.* Berl. akad. Sitzgs.-Ber. XXVIII. S. 635.
Ferrier u. Yeo. *On the effects of lesion of the cerebral hemispheres.* Proc. Roy. Soc. XXXVI. S. 229.
F. Goltz. *Zur Localisation im Grofshirn.* Berl. klin. Wochenschr. XXI. No. 20.
— *Ueber die Verrichtungen des Grofshirns.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIV. S. 450.
J. Hamilton. *Destruction of occipital lobe accompanied by blindness.* Brain. XXV. 4. S. 89.
— *On the cortical connexions of the optic nerves.* Proc. Roy. Soc. London. XXXVII. S. 1.
J. Loeb. *Die Sehstörungen nach Verletzung der Grofshirnrinde.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIV. S. 67, 115.
L. Luciani. *On the sensorial localisation in the cortex cerebri.* Brain. VII. S. 144.
H. Munk. *Ueber die centralen Organe für das Sehen und Hören.* Berl. Akad. Sitzgs.-Ber. XXIV. S. 1.
Schiff. *Ueber die Functionen des Gehirns.* Pflüger's Arch. f. Physiol. XXXII. S. 417.
P. Zenner. *Cerebral localisation; the centres for vision.* Med. Rec. New-York. XXVI. S. 146.

1885.

A. Angelucci. *Sulla struttura del chiasma dei mammiferi e sul centro visivo della corteccia.* Bull. d. r. Acad. med. di Roma. XI. S. 17.
Belloxci. *Sulla terminazione centrale del nervo ottico nei mammiferi.* Bologna Mem. (4.) VI. S. 199—204.
— *Intorno alla terminazione centrale dei nervi ottici nei mammiferi.* Rendic. d. sess. d. R. Acad. delle scienze di Bologna. S. 37.
O. Berger. *Zur Localisation der corticalen Sehschärfe beim Menschen.* Bresl. ärztl. Zeitschr. No. 1.
S. M. Burnett. *Are there separate centres for light-, form- and color-perception?* Washington Bull. Phil. Soc. VII. 72.
A. Christiani. *Zur Physiologie des Gehirns.* Berlin. Enslin. 1885. 176 S.

180. Debenedetti. *Determinazione del centro del movimento del globo oculare.* At della R. Acad. di Med. di Torino.
181. Eckhard. *Beiträge zur Geschichte der Experimentalphysiologie des Nervensystem. Geschichte der Physiologie der motorischen Nerven des Auges.* Eckhard's Beitr. z Anat. u. Physiol. d. Auges. XI. S. 115.
182. Edinger. *Ueber den Verlauf der centralen Hirnnervenbahnen.* Arch. f. Psychiat u. Nervenkrankh. XVI. S. 858.
183. S. Exner. *Kritischer Bericht über die neueren physiologischen Untersuchungen, di Grofshirnrinde betreffend.* Biol. Centralbl. V. No. 1 u. 2.
184. Ch. Féré. *Trois autopsies pour servir à la localisation des troubles de la visio d'origine.* Arch. de Neurol. No. 26.
185. D. Ferrier. *A record of experiments on the effects of lesion of different regions c the cerebral hemisphere.* Philos. Transact. of the Roy. Soc. of London. Vol. 17 Part II. S. 479.
186. Filia. *Contribuzione clinica allo studio della localizzazione cerebrali.* Rivis internaz. di med. e chir. No. 4.
187. v. Gudden. *Ueber die Frage der Localisation der Functionen der Grofshirnrind* Neurol. Centralbl. S. 411.
188. Günther. *Klinische Beiträge zur Localisation des Grofshirnmantels.* Zeitschr. klin. Med. XI. S. 1.
189. Högges. *Ueber die Detaileinrichtung des centralen und centrifugalen Theiles d die Augenbewegungen associirenden Nervenmechanismus.* Pest. med. chir. Press XXI. S. 65. 85.
190. P. Kaschanowski. *Die oculo-pupillären Centren.* Wien. med. Jahrb. 4. S. 44
191. C. v. Monakow. *Ueber den Zusammenhang der Sehnerven mit den Sehsphären.* Ver d. physiol. Ges. Berlin. 1885. 9. Arch. f. Psychiatr. XII. Heft 3. XIV. Heft XVI. Heft 1.
192. — *Experimentelle und pathologisch-anatomische Untersuchungen über die Beziehung der sogenannten Sehsphäre zu den infracorticalen Opticuscentren und zum Nerv opticus.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XVI. 1. S. 151—200. 319—353.
193. — *Einiges über die Ursprungscentren des Nervus opticus und über die Verbindung derselben mit der Sehsphäre.* Verh. d. physiol. Ges. in Berlin. No. 6, 7 u. Arch. f. Physiol. S. 329.
194. R. Richter. *Zur Frage der optischen Leitungsbahnen des menschlichen Gehirn* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XVI. S. 639.
195. — *Ueber die optischen Leitungsbahnen des menschlichen Gehirns.* Allgem. Zeitsch f. Psychiatr. XLI. S. 636.
196. Wilbrand. *Ueber concentrische Gesichtsfeldeinschränkung bei functionellen Störung der Grofshirnrinde und über Incongruenz hemianopischer Gesichtsfelddefecte.* Kli Monatsbl. f. Augenhlkde. S. 73.
197. Wising. *Ett bidrag till frågan om de cerebrale localisationerna.* Hygiea. XLVII. S. 239.

1886.

198. W. v. Bechterew. *Ueber die Function der Sehhügel bei Thieren und den Mensche* (Russisch.) Westnik klin. i sudebnoj Psychiatr. i Neuropath. III. 3.
199. A. Christiani. *Zur Physiologie des Gehirns.* du Bois' Arch. f. Physiol. S. 559.
200. — *Sehsphäre und Opticus.* Tagebl. d. 59. Vers. dtsch. Naturf. u. Aerzte i Berlin. S. 143.
201. L. Darkschewitsch. *Ueber die sogenannten primären Opticuscentren und ih Beziehung zur Grofshirnrinde.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abth. S. 249.
202. S. Exner. *Ueber neuere Forschungsresultate, die Localisation in der Hirnrin betreffend.* Wien. med. Wochenschr. No. 49, 50 u. 51.
203. S. Exner und J. Paneth. *Ueber Sehstörungen nach Operationen im Bereich d Vorderhirns.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 62.
204. v. Gudden. *Ueber die Frage der Localisation der Functionen der Grofshirnrind* Zeitschr. f. Psychiatr. Bd. 42.
205. Hitzig. *Sehsphäre und Opticus.* Tagebl. d. 59. Vers. dtsch. Naturf. u. Aerz in Berlin. S. 142.
206. Ph. Knoll. *Ueber die Augenbewegungen bei Reizung einzelner Theile des Gehirn* Sitzgs.-Ber. d. kgl. Akad. d. Wiss. zu Wien. Bd. 94. 3.

07. J. Loeb. *Beiträge zur Physiologie des Grofshirns.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIX. S. 265.

08. Luciani u. Seppilli. *Die Functionslocalisation auf der Grofshirnrinde.* Deutsch von O. Fränkel. Leipzig. Denicke. 1886.

09. H. Munk. *Sehsphäre und Opticus.* Tagebl. d. 59. Vers. dtsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 142.

10. — *Ueber die centralen Organe für das Sehen und Hören bei den Wirbelthieren.* Sitzgs.-Ber. d. preufs. Akad. d. Wiss. Heft 7, 8 u. 9.

11. — *Demonstration von Gehirnen mit exstirpirten Sehsphären.* Tagebl. d. 59. Vers. dtsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 415.

12. C. Reinhard. *Zur Frage der Hirnlocalisation.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XVII. S. 717. XVIII. S. 240.

1887.

13. W. v. Bechterew. *Die Bedeutung der Sehhügel auf Grund von experimentellen und pathologischen Daten.* Virchow's Arch. Bd. 110. S. 102—154, 322—365.

14. L. Bouveret. *Observation de cécité totale par lésion corticale.* Rev. gén. d'Ophth. S. 481.

15. L. Darkschewitsch. *Ueber die Leitungsbahn des Lichtreizes von der Netzhaut des Auges auf den Nervus oculomotorius.* (Russisch.) Anatomisch - Physiologische Untersuchungen. Moskau. 1887. 146 S.

16. — *Die Betheiligung des oberen Vierhügels bei der Uebertragung des Lichtreizes auf die Kerne des Nervus oculomotorius.* (Russisch.) Medizinskoje Obozrenje. XXXIII. 9. S. 907. — Abh. d. II. Congr. d. russ. Aerzte zu Moskau. II. S. 72.

17. M. Duval. *Quelques exemples de dynamogénie sur les centres des organs des sens.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 763.

18. S. Exner. *Ueber Sehstörungen nach Operationen im Bereich des Vorderhirns.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 62.

19. S. Exner und J. Paneth. *Das Rindenfeld des Facialis und seine Verbindungen bei Hund und Kaninchen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLI. S. 349.

20. Ph. Knoll. *Ueber die Augenbewegungen bei Reizung einzelner Theile des Gehirns.* Wien, Gerold's Söhne. 1887.

21. Lannegrace. *De l'influence de certaines lésions cérébrales sur l'appareil de la vision.* Soc. de méd. et de chir. de Montpellier. 1 Semester.

22. J. Nussbaum. *Ueber die wechselseitigen Beziehungen zwischen den centralen Ursprungsgebieten der Augenmuskelnerven.* Medic. Jahrb. S. 407.

23. C. Reinhard. *Zur Frage der Hirnlocalisation.* Arch. f. Psychiatr. XVIII. S. 240 u. 449.

24. Siemerling. *Casuistischer Beitrag zur Localisation im Grofshirn.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XVIII. 3. S. 877.

25. A. Vetter. *Ueber den derzeitigen Stand der Frage von der Localisation am Gehirn.* Deutsch. Arch. f. klin. Medic. Bd. 40. S. 228.

26. H. Wilbrand. *Die Seelenblindheit als Herderscheinung und ihre Beziehungen zur homogenen Hemianopsie, zur Alexie und Agraphie.* Wiesbaden. Bergmann. 1887. 182 S.

1888.

7. Arndt. *Zur Frage von der Localisation der Functionen der Grofshirnrinde.* Berl. klin. Wochenschr. No. 8.

8. Belloncı. *Ueber die centrale Endigung des Nervus opticus bei den Vertebraten.* Zeitschr. f. wiss. Zool. XLVII. 1.

9. S. Brown. *The centres for sight and hearing.* Med. Rec. XXX. No. 3. S. 90.

0. A. Chauffard. *De la cécité subite par lésions combinées des deux lobes occipitaux (Anopsie corticale).* Rev. de méd. No. 2.

1. S. Dannillo. *Ueber die Beziehung der Hinterhauptlappen der neugeborenen und jungen Thiere zu den Augenbewegungen.* (Russisch.) Wratsch. No. 48.

2. C. S. Freund. *Einige Grenzfälle zwischen Aphasie und Seelenblindheit.* Centralbl. f. Nervenheilkde. No. 8.

3. Fr. Goltz. *Ueber die Verrichtungen des Grofshirns.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 42. S. 419.

4. M. Jastrowitz. *Beiträge zur Localisation im Grofshirn und über deren praktische Verwerthung.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 8.

235. Lannegrace. *Influence des lésions corticales sur la vue chez le chien.* Comp rend. hebd. des séances de la Soc. de Biol. V. No. 32. S. 708.
236. A. Richter. *Pathologisch-Anatomisches und Klinisches über die optischen Leitun bahnen des menschlichen Gehirnes.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XX. S. 5(
237. E. C. Spitzka. *The oculo-motor centres and their co-ordinators.* Journ. of ne and ment. diseas. New-York. XV. S. 413.
238. A. N. Vitzou. *Contribution à l'étude du centre cerébro-sensitif visuel chez chien.* Compt. rend. hebd. de l'Acad. des sc. de Paris. Bd. XVII. No. 4. S. 276.

1889.

239. J. Anderson. *Homonymous hemianopsia: recovery: subsequent death and necrop.* Brit. med. journ. No. 1508. S. 1155. — Lancet. No. 3456. S. 1062.
240. A. Angelucci. *Qualità visive delle corteccie cerebrali nei vertebrati superiori.* Ar di Ottalm. XVII. S. 551.
241. W. v. Bechterew. *Ueber die Leitungsbahn des Lichtreizes von der Netzhaut a den N. oculomotorius.* (Russisch.) Arch. Psychiatr. Neurol. i sudebnoj Psychopa XIII. 1. S. 1.
242. A. H. Bennett und Th. Lavill. *A case of permanent conjugate deviation of eyes and head, the result of a lesion limited to the sixth nucleus etc.* Brain. S. 1(
243. G. Fasola. *Effetti di scervellazioni parziali totali e negli uccelli, inordine a visione.* Riv. sperim. di Freniatria. XV. S. 317.
244. C. S. Freund. *Ueber optische Aphasie und Seelenblindheit.* Arch. f. Psychia XX. S. 276—297, 371—416.
245. A. v. Frisch. *Occipitalwunde mit Hemianopsie.* Mitth. d. Wien. med. Doctor kollegiums. XV. No. 9.
246. Lannegrace. *Influence des lésions corticales sur la vue.* Arch. de méd. expér. anat. pathol. No. 1. S. 87.
247. H. Lissauer. *Ein Fall von Seelenblindheit nebst einem Beitrag zur Theorie d selben.* Arch. f. Psychiatr. XXI. S. 222.
248. C. v. Monakow. *Experimentelle und pathologisch-anatomische Untersuchungen ü die optischen Centren und Bahnen.* (Neue Folge.) Arch. f. Psychiatr. u. Nerv krankh. XX. 3. S. 714—787.
249. H. Munk. *Ueber die centralen Organe für das Sehen und das Hören bei Wirbelthieren.* Sitzgs.-Ber. d. preufs. Akad. d. Wiss. 20. Juni. 1889. S. 615.
250. P. Oulmont. *Cécité subite par ramolissement des deux lobes occipitaux.* G hebd. de Méd. et de Chir. No. 38. S. 607.
251. A. Pick. *Kritischer Beitrag zur Lehre von der Localisation in der Grofshirnrin* Zeitschr. f. Heilkde. X.
252. S. Sharkey. *Case of cortical and subcortical disease of the occipito angular reg producing hemianopsia.* Transact. of the ophthalm. soc. VIII. S. 304.
253 Siemerling. *Ein Fall von sogenannter Seelenblindheit nebst anderweitigen ce bralen Symptomen.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. XXI. S. 284—299.
254. Tomaschewski. *Zur Frage über die Veränderungen in der Gehirnrinde in ein Falle von in früher Kindheit erworbener Blindheit und Taubheit.* Centralbl. Nervenheilkde. XII. S. 21.

1890.

255. W. v. Bechterew. *Ueber die Sehfläche auf der Oberfläche der Hirnhemisphär* (Russisch.) Arch. Psychiatr. Neurol. i sudebnoj Psychopath. XV. S. 1.
256. de Bono. *Contributo allo studio delle localizzazioni cerebrali dai sintomi ocul* Rendiconto del XII. Congresso della Associazone Ottalmologica Italiana. Pisa. S.
257. J. Déjerine, P. Sollier et E. Auscher. *Deux cas d'hémianopsie homonyme, lésions de l'écorce du lobe occipital.* Arch. de Physiol. (5.) II. S. 177—192.
258. Dommartin. *Cécité subite consécutive à un traumatisme de la région occipit* Arch. de méd. et de pharm. milit. No. 3. S. 211.
259. D. Ferrier. *The Croonian lectures on cerebral localisation.* Brit. med. Jou S. 1289—1294, 1349—1354, 1413—1418.
260. Förster. *Ueber Rindenblindheit.* Graefe's Arch. XXXVI. 1 Abth. S. 94—108.
261. M. Knies. *Ueber die centralen Störungen der willkürlichen Augenmuskeln.* Arch Augenheilkde. XXXII. S. 19—51.
262. C. Möli. *Veränderungen des Tractus opticus bei Erkrankungen des Occipitalhir* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenheilkde. XXII. S. 72—120.

263. Mott. *Report on bilateral associated movements and on the functional relations of the corpus callosum to the motor cortex.* Brit. med. journ. I. S. 1124.

264. — *Report on associated eye movements by unilateral and bilateral cortical faradization of the monkey's brain.* Brit. med. journ. I. S. 1419.

265. H. Munk. *Sehsphäre und Augenbewegungen.* Sitzgs.-Ber. d. kgl. Akad. d. Wiss. in Berlin. S. 53—74.

266. — *Ueber die Functionen der Grofshirnrinde.* 2. Aufl. Berlin. A. Hirschwald. 1890.

267. J. L. Nuel. *Localisation de quelques phénomènes morbides dans le cerveau à l'aide des troubles visuels.* Ann. de la soc. méd.-chir. de Liège. S. 208.

268. Obregia. *Ueber Augenbewegungen auf Sehsphärenreizung.* Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 260—279.

269. Perlia. *Ansicht des Mittel- und Zwischenhirns eines Kindes mit congenitaler Amaurose.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (4.) S. 217—223.

270. Ch. Richet. *Un cas de cécité expérimentale double chez un chien, avec autopsie.* Rev. phil. XXIX. S. 554—557.

271. Schmidt-Rimpler. *Cortical hemianopsia with secondary degeneration of the optic nerve.* Arch. of Ophthalm. XIX. H. 2 u. 3.

272. Stowell. *Blindness following cerebro-spinal Meningitis, with recovery after two years.* New York. Med. Journ. 9. Aug.

273. Thompson und Brown. *Experiments upon the cortical sight centre.* Researches of the Loomis Laboratory New York. I. S. 13.

274. H. Wilbrand. *Die hemianopischen Gesichtsfeldformen und das optische Wahrnehmungscentrum.* Wiesbaden. Bergmann. 1890.

275. Zerelitzky. *Experimentelle Untersuchungen über die Function der Hirnrinde des Occipitallappens der Hemisphäre bei höheren Thieren.* (Diss. Petersburg. Russisch.) Refer. in Arch. Psychiatr. Neurol. i sudebnoj Psychopathol. XVI. 1. S. 151. — Oestreich-ungar. Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 29. S. 546.

1891.

276. G. W. M'Caskey. *Hemianopsie, ein diagnostisches Merkmal von Hirnerkrankung.* The Amer. Lancet. 1891. März.

277. M. v. Gonzenbach. *Zur Lehre von der einseitigen Amaurose. Intracranieller Opticus- and Chiasma-Tumor.* Diss. Basel. 52 S.

278. A. Groenouw. *Ueber doppelseitige Hemianopsie centralen Ursprunges.* Arch. f. Psychiatr. Bd. 23. S. 339—367.

279. P. Grosch. *Eine Herderkrankung des Gehirns mit Ophthalmoplegie und Opticus-Atrophie.* Diss. Jena. 29 S.

280. O. Haab. *Der Hirnrindenreflex der Pupille.* Zürich, Müller. 8 S.

281. J. Hirschberg. *Ueber Sehstörungen durch Gehirngeschwulst.* Neurol. Centralbl. X. S. 450—455.

282. S. Kirilzew. *Zur Casuistik der Sehhügel-Affectionen.* (Russisch.) Medicinskoje Oboszenije. No. 4.

283. J. P. Morat und M. Doyon. *Le grand sympathique nerf accomodateur.* Arch. de Physiol. (5.) III. S. 507—522.

284. Mott u. Schaefer. *On associated eye-movements produced by cortical faradization of the monkey's brain.* Brain. XIII. S. 165.

285. H. Munk. *Sehsphäre und Raumvorstellungen.* Intern. Beitr. z. wiss. Med. (Virchow-Festschrift). Bd. I. S. 355—366. Berlin, Hirschwald.

286. H. D. Noyes. *Hemianopsia.* N. Y. Med. Record. 4. April.

287. Ch. A. Oliver. *Ein Fall von intracranieller Neubildung, localisirt durch oculare Symptome.* (Uebersetzt von A. Weiland.) Knapp u. Schweigger Arch. f. Augenheilkde. Bd. XXIV. S. 157—160.

288. Perlia. *Ueber die Beziehungen des Opticus zum Centralnervensystem.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXIX. S. 191—202.

1892.

289. Ch. St. Bull. *Contribution to the subject of intracranial lesions, with defects in the visual fields. Five cases with autopsies.* Transact. of Americ. ophthalm. soc. XXVIII. S. 268.

290. A. Chauveau. *Sur l'existence de centres nerveux distincts pour la perception des couleurs fondamentales du spectre.* France Médicale. No. 50. S. 787. Compt. Rend. Bd. 115. S. 908.

291. Fr. Müller. *Ein Beitrag zur Kenntnifs der Seelenblindheit.* Arch. f. Psychiat XXIV. 3. S. 856—918.
292. Ch. Richet. *Cécité psychique expérimentale chez le chien.* Compt. Rend. de la So de Biol. (N. F.) IV. 7. S. 146—148.
293. — *Des lésions cérébrales dans la cécité psychique expérimentale chez le chien.* Comp Rend. de la Soc. de Biol. S. 237.
294. G. Seppilli. *Sui rapporti della cecità bilaterale colle affezioni dei lobi occipita* Riv. Sperim. di Freniatria. XVIII. S. 245—261.
295. A. N. Vitzou. *I centri cerebro-visivi nel cane e nella scimmia.* Congr. Intern. fisiol. Liegi, August 1892.

1893.

296. Brissaud. *La fonction visuelle et le cuneus.* Ann. d'Ocul. Bd. 110. S. 321. 189
297. G. F. W. Ewens. *A theory of cortical visual representation.* Brain. No. 64. S. 4 bis 492.
298. S. E. Henschen. *On the visual path and centre.* Upsala. — Brain. No. 61/62. S. 1 bis 181.
299. O. v. Leonova. *Ueber das Verhalten der Neuroblasten des Occipitallappens b Anophthalmie und Bulbusatrophie und seine Beziehungen zum Sehact.* Arch. f. An u. Physiol. S. 308—318.
300. Schmidt-Rimpler. *Doppelseitige Hemianopsie mit Sectionsbefund.* Arch. f. Auge heilkde. S. 181.
301. J. Turner. *A case of left homonymous hemianopsia.* Brain. No. 64. S. 562—56
302. Vialet. *Les centres cérébraux de la vision et l'appareil nerveux visuel intra-cérébr.* Paris, F. Alcan. 355 S.
303. A. N. Vitzou. *Effets de l'ablation totale des lobes occipitaux sur la vision, chez chien.* Arch. de Physiol. (5.) V. S. 689—699.

1894.

304. A. Angelucci. *Untersuchungen über die Sehthätigkeit der Netzhaut und des Gehirn* Unters. z. Naturlehre d. Menschen u. d. Thiere. Herausg. von Moleschott. XIV. 3.
305. Dejeret u. Vialet. *Ueber einen Fall von Rindenblindheit intra vitam diag sticirt und durch Autopsie bestätigt.* Allgem. med. Centr.-Ztg. No. 8. S. 93.
306. S. E. Henschen. *Sur les centres optiques cérébraux.* Rev. gén. d'Ophthalm. XI S. 337—352.
307. Jouslain. *Surdité unilatérale et perte d'un oeil par suite de contusion et d'émoti* Bull. et mém. de la soc. de laryngol. etc. de Paris. 5.
308. H. Magnus. *Ein Fall von Rindenblindheit.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 4. S.
309. H. Rabus. *Zur Kenntnifs der sogenannten Seelenblindheit.* Diss. Erlangen. 40
310. Vialet. *Les centres cérébraux de la vision et l'appareil nerveux visuel intra-cérébr* Ann. d'oculist. Bd. 111. S. 161—199.
311. — *Considérations sur le centre visuel cortical à propos de deux nouveaux d'hémianopsie corticale suivis d'autopsie.* Arch. d'Ophtalm. XIV. S. 422—426.

III.

Specielle Litteratur zur physiologischen Optik.

---

§ 1.

Formen des Sehorgans im Allgemeinen.

1. Historisches.

1877.

12. H. Magnus. *Historische Tafeln zur Anatomie des Auges.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XV. Beilage-Heft. 17 S.

1878.

13. H. Magnus. *Die Anatomie des Auges bei den Griechen und Römern.* Leipzig. Veit & Co. 1878. 67 S.

14. Szokalski. *Die Kenntnisse des Baues und der Functionen des menschlichen Auges im Altertum und Mittelalter.* Medycyna. 1878. S. 107.

. Entwickelungsgeschichte; allgemeine, specielle und vergleichende Anatomie der Thieraugen.

1715.

15. G. Bidloo. *De oculis et visu variorum animalium observationes physico-anatomicae.* Lugduni Bat.

1808.

16. J. A. Albers. *Ueber den Bau der Augen verschiedener Thiere.* Münch. Acad.

1826.

17. M. de Serres. *Ueber die Augen der Insekten.* Aus d. Französ. v. Dieffenbach. Berlin.

18. J. Müller. *Zur Physiologie des Gesichtssinnes.* Leipzig. S. 315.

1835.

9. R. Wagner. *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie.*

1840.

0. J. Müller. *Handbuch der Physiologie des Menschen.* Coblenz. Bd. II. S. 305.

1. F. Will. *Beiträge zur Anatomie der zusammengesetzten Augen mit facettirter Hornhaut.* Erlangen.

1843.

2. R. Wagner. *Lehrbuch der speciellen Physiologie.* S. 383.

1848.

3. v. Siebold u. Stannius. *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie.* Berlin.

1852.

4. Bergmann u. Leuckart. *Anatomisch-physiologische Uebersicht des Thierreichs.* Stuttgart.

1856.

5. F. Dujardin. *Remarques sur certaines dispositions de l'appareil de la vision chez les insectes.* Compt. Rend. XLII. 941. Inst. 194.

1866.

6. F. Plateau. *Sur la vision des poissons et des amphibies.* Mondes. (2.) XII. 158—162. Arch. sc. phys. XXVII. 191—193. Compt. Rend. II. S. 449.

1867.

327. F. Dujardin. *Sur la vision des poissons et des amphibies.* Ann. des sc. natur. VII. S. 15.
328. Polemann. *Sur un travail de F. Plateau relatif à la vision des poissons.* Bull d. Brux. (2.) XXII. 3—5.

1871.

329. F. Boll. *Beiträge zur physiologischen Optik. I. Das Sehen mit zusammengesetzten Augen und der Leuwenhoeksche Versuch.* Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 530—549
330. F. Holmgren. *Ueber die Blutgefäfse der Hyaloiden des Froschauges.* Upsal Läkaref. Förh. VII. S. 127—130.

1872.

331. Emmert. *Die Organe des Sehens in den verschiedenen Thierkreisen.* (Zwei Vorträge in der Aula zu Bern.)
332. R. J. Lee. *Remarks on the sense of sight in birds.* Proc. of the Roy. Soc. XX 351—360.

1875.

333. S. Exner. *Ueber das Sehen von Bewegungen und die Theorie des zusammengesetzten Auges.* Wien. Akad. Ber. (3.) 72. S. 156—190.

1877.

334. L. Kessler. *Zur Entwickelung des Auges der Wirbeltiere.* Leipzig. 1877.
335. W. Kühne. *Eine Beobachtung über das Leuchten der Insectenaugen.* Unters. a. d physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. Bd. I. S. 242—247.

1878.

336. W. Crookes. *The senses of the lower animals.* The quart. Journ. of Sc. LI July. S. 289—315.

1879.

337. Th. v. Ewetsky. *Beiträge zur Entwickelungsgeschichte des Auges.* Arch. f. Augen heilkde. VIII. S. 241.

1880.

338. J. Chatin. *Contribution à l'étude des phénomènes de la vision chez les Gastéro podes pulmonés.* Gaz. hebdom. No. 2. S. 27.
339. J. Notthaft. *Ueber die Gesichtswahrnehmungen vermittelst des Facettenauges* Abh. d. Senkenberg. naturf. Ges. XII Frankfurt a. M. Winter, 1880. 91 S.

1881.

340. S. Exner. *Die Frage von der Functionsweise der Facettenaugen.* Biol. Cen tralbl. No. 9. S. 272.

1882.

341. E. Berger. *Beiträge zur Anatomie des Sehorganes der Fische.*
342. Berlin. *Ueber den physikalisch-optischen Bau des Pferdeauges.* Zeitschr. f. verg Augenheilkde. S. 17—36.
343. Dareste. *Sur une anomalie de l'oeil.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 44—45.
344. L. Desfosses. *De l'oeil du Protée.* Compt. Rend. Bd. 94. No. 26. S. 1729—1731.
345. S. J. Hickson. *The Eye of Spondylus.* The quarterl. Journ. of microsc. Sc S. 362—364.
346. Pufahl. *Die Augen der Vögel.* Zeitschr. d. Verb. d. ornithol. Vereine Pommern u. Mecklenburgs. No. 5, 6 u. 7.
347. C. Ritter. *Das Auge eines Acranius histologisch untersucht.* Arch. f. Augen heilkde. XI. S. 215—218.
348. H. Virchow. *Beiträge zur vergleichenden Anatomie des Auges.* Habilit. - Sch Berlin. 99 S.

1883.

349. E. Ray Lankaster u. A. G. Bourne. *The minute structure of the lateral and th central eyes of Scorpio and of Limulus.* The quaterl. Journ. of microsc. S S. 177—212.
350. H. Virchow. *Augengefäfse der Ringelnatter.* Sitzgs.-Ber. d. physiol. med. Ges. z Würzburg. S. 132—134.

1884.

351. O. Bütschli. *Nachschrift zu Beiträge des Gastropodenauges von Hilger.* Morpho Jahrb. X. S. 372—375.

52. J. Carrière. *On the eyes of some invertebrata.* The quaterl. Journ. of microsc. Sc. XXIV. S. 678.
53. G. V. Ciaccio. *Osservazioni anatomiche comparative intorno agli occhi della Talpa illuminata (T. europaea) e a quelli della Talpa cieca (T. coeca).* Mem. d. Acad. Reale delle scienze. Bologna. (4.) VI. S. 31—35.
54. R. Hilbert. *Ueber die nach der Geburt eintretenden entwickelungsgeschichtlichen Veränderungen der brechenden Medien und des Augenhintergrundes der Katze.* Graefe's Arch. f. Ophth. XXX. 3. S. 245.
55. C. Hilger. *Beiträge zur Kenntniſs des Gastropodenauges.* Morphol. Jahrb. X. S. 351—371.
56. H. Grenacher. *Abhandlungen zur vergleichenden Anatomie des Auges. I. Die Retina der Cephalopoden.* Halle. Niemeyer. 1884. 50 S.
57. Pouchet. *Organes visuels des êtres unicellulaires.* (Soc. de Biol. 27. Oct.) Gaz. hebdom. S. 726.

1885.

58. J. Carrière. *Die Sehorgane der Thiere.* München. Oldenbourg. 1885. 147 Abb. u. 1 Taf.
59. S. J. Hickson. *The retina of insects.* Nature. London. XXXI. S. 341.
60. — *The eye and optic tract of insects.* The quarterl. Journ. of microsc. Sc. April. S. 215—251.
61. E. R. Lankaster. *Mr. Lowne on the morphology of insects' eyes.* Nature. XXXI. S. 504 u. 578.
62. B. T. Lowne u. S. J. Hickson. *The compound vision and morphology of the eye in insects.* Nature. XXXI. S. 433.
63. F. Plateau. *Recherches expérimentales sur la vision chez les insectes.* Brüssel. F. Hayez. 1885
64. — *Können die Insekten die Formen der Objekte erkennen?* Bullet. de l'Acad. roy. de Belgique. (3.) X. S. 231.
65. E. A. Schafer. *Mr. Lowne on the morphology of insects' eyes.* Nature. XXXII. S. 3—4.
66. H. Virchow. *Mittheilungen zur vergleichenden Anatomie des Wirbelthierauges.* 58. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Straſsburg. Tageblatt.

1886.

67. Ph. Bertkau. *Beiträge zur Kenntniſs der Sinnesorgane der Spinnen.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXVII. S. 589—631.
68. W. B. Canfield. *Vergleichend anatomische Studien über den Accommodationsapparat des Vogelauges.* Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 28. S. 121—170.
69. J. Carrière. *Kurze Mittheilungen aus fortgesetzten Untersuchungen über die Sehorgane.* Zool. Anz. No. 217, 220, 229, 230. S. 141—147, 220—223, 479—481, 496—500.
70. G. V. Ciaccio. *Sur la fine structure des yeux des diptères.* Journ. de micrographie. No. 3, 5, 9 u. 10.
71. A. Forel. *Expériences et remarques critiques sur les sensations des insectes. 1. Theil.* Rec. zool. suisse. IV. S. 1—50.
72. — *Les fourmis perçoivent-elles l'ultraviolet avec leurs yeux ou avec leur peau?* Compt. Rend. de la soc. helvét. des sc. nat. S. 128.
73. H. Grenacher. *Das Auge der Heteropoden.* Abh. der naturf. Ges. zu Halle. 65 S.
74. W. Patten. *Eyes of molluscs and arthropods.* Mitth. a. d. zool. Stat. zu Neapel. VI. S. 542—756.
75. F. Plateau. *Recherches sur la perception de la lumière par les Myriopodes aveugles.* Journ. de l'Anat. et de Physiol. S. 431.

1887.

76. F. E. Beddard. *Note on a new type of compound eye.* Ann. and mag. of nat. hist. XX. No. 117. S. 233—236.
77. E. L. Mark. *Simple eyes in arthropods.* Bull. of the Museum of comp. zool. at Harvard College. XIII. No. 3.
78. W. Patten. *On the eyes of molluscs and arthropods.* Zool. Anz. No. 251. S. 256—261.
79. P. Schiefferdecker. *Ueber das Fischauge.* Verh. d. 1. Vers. d. anat. Ges. zu Leipzig. S. 381.

1888.

380. S. Exner. *Functionsweise des facettirten Insectenauges.* Klin. Wochenschr. S. 897.
381. C. Hess. *Beschreibung des Auges von Talpa europaea und Proteus anguineus.* Arch. f. Ophthalm. XXXV. 1. S. 1—19.
382. W. Patten. *Studies on the eyes of arthropods.* Journ. of morphol. II. S. 97—110.
383. F. Plateau. *Vision chez les Chénilles.* Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. (3.) XV. No. 1.
384. — *Vision chez les Arachnides.* Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. (3.) XIV. No. 11. S. 545.
385. — *Experimental-Untersuchungen über das Sehen bei den Arthropoden.* Bull. Belg. (3.) XVI. S. 395.

1889.

386. J. Carrière. *Bau und Entwickelung des Auges der zehnfüfsigen Crustaceen und der Arachnoiden.* Biol. Centralbl. IX. No. 8. S. 225—234.
387. — *Ueber Molluskenaugen.* Arch. f. mikrosc. Anat. XXXIII. S. 378—402.
388. G. V. Ciaccio. *Sur la forme et la structure des facettes de la cornée et sur les milieux réfringents des yeux composés des Muscidés.* Journ. de microgr. No. 3. S. 80.
389. G. Denisenko. *Zur Frage über den Bau des Auges der Knorpelfische.* (Russisch.) Westnik ophth. VI. S. 133 u. Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 260—262.
390. R. Dubois. *Sur l'action des agents modificateurs de la contraction photodermatique chez le Pholas dactylus.* Compt. Rend. Bd. 109. S. 320—322.
391. — *Sur le mécanisme des fonctions photodermatique et photogénique dans le siphon du Pholas dactylus.* Compt. Rend. Bd. 109. S. 233—235.
392. M. Duval. *Le troisième oeil des vertébrés.* Journ. de microgr. No. 1. S. 16—20.
393. — u. Kalt. *Des yeux pinéaux multiples chez l'orvet.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. No. 6. S. 85—86.
394. S. Exner. *Das Netzhautbild des Insectenauges.* Exner's Rep. XXV. S. 539—562. 621—642 u. Wien. Ber. XCVIII. Abth. 3. S. 13—65.
395. F. H. Herrick. *The development of the compound eye of Alpheus.* Zool. Anz. XII. S. 164.
396. C. Hess. *Beschreibung des Auges von Talpa europäa und von Proteus anguineus.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (1.)
397. J. v. Kennel. *Einfache Augen der Anneliden.* Sitzgs.-Ber. d. Naturf. Ges. zu Dorpat. VIII. (3.) S. 405.
398. C. Kohl. *Einige Notizen über das Auge von Talpa europaea und Proteus anguineus.* Zool. Anz. XII. No. 312. S. 383—386. No. 313. S. 405—408.
399. W. Krause. *Die Retina der Torpedineen.* Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. 6. S. 206.
400. W. Schewiakoff. *Beiträge zur Kenntnifs des Acalephenauges.* Morphol. Jahrb. XV. S. 21—60.
401. S. Tornatola. *Ricerche sull' occhio della testuggine marina.* Messina. 1889.
402. S. Watase. *On the structure and development of the eyes of the limulus.* J. Hopkin's Univ. Circ. Baltimore. VIII. 34.

1890.

403. M. Beaudouin. *Encore le troisième oeil des vertébrés.* Progr. méd. No. 11. S. 330.
404. E. Béraneck. *L'oeil primitif des vertébrés.* Arch. d. sc. phys. et nat. XXIV. S. 361.
405. F. Mazza. *Sull occhio della Cephaloptera giorna Cuv.* Ann. d. Mus. civ. di stor. nat. di Genova. (2.) IX. S. 455—475.
406. O. Pankrath. *Das Auge der Raupen und Phryganidenlarven.* Dissert. Halle. 21 S. — Zeitschr. f. wiss. Zool. IL. S. 690—708.
407. G. H. Parker. *The histology and development of the eye in the lobster.* Bull. of the Mus. of Comp. Zool. at Harvard Coll. XX. No. 1. S. 60.
408. W. de Sczawinska. *Contribution à l'étude des yeux de quelques crustacés. — Recherches expérimentales sur les mouvements du pigment granuleux et des cellules pigmentaires sous l'influence de la lumière et d'obscurité.* Rec. d'Ophth. S. 569—577.
409. E. Schöbel. *Zur postembryonalen Entwickelung des Auges der Amphibien.* Zool. Jahrb. f. Syst. u. Ontog. IV. S. 297—347. — Dissert. Leipzig. 51 S.

1891.

410. C. Claus. *Das Medianauge der Crustaceen.* Wien A. Hölder. 42 S. — Arb. aus d. Wien. Zool. Institut. Bd. IX. S. 225—262.

11. S. Exner. *Die Physiologie der facettirten Augen von Krebsen und Insecten.* Leipzig u. Wien. 1891. 206 S. 7 Taf. u. 23 Holzschn.

12. Hirschberg. *Ueber das Auge des Kätzchens.* (Verh. d. Physiol. Ges.) Du Bois' Arch. S. 351—357.

13. P. Martin. *Die Entwickelung der Netzhaut bei der Katze.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 25—41.

14. K. W. Schlampp. *Beiträge zur Anatomie des Auges vom Grottenolme.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 73—76.

15. H. Viallanes. *Sur la structure de l'oeil composé des crustacés macroures.* Compt. Rend. CXII. S. 1017—1020.

1892.

16. E. A. Andrews. *On the eyes of Polychaetous Annelids.* Journ. of Morphol. VII. 2. S. 169.

17. C. Claus. *Ueber die Gattung Miracia Dana mit besonderer Berücksichtigung ihres Augen-Baues.* Wien. Hölder. 18 S.

18. S. Fuchs. *Ueber einige neuere Fortschritte in der Anatomie und Physiologie der Arthropodenaugen.* Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 351—378.

19. E. Goeppert. *Untersuchungen über das Sehorgan der Salpen.* Morphol. Jahrb. XIX. II. S. 250.

20. C. Kohl. *Das Auge von Petromyzon Planeri und von Myxine Glutinosa.* Dissert. Leipzig. 57 S.

21. — *Rudimentäre Wirbelthieraugen.* Bibliotheca zoologica. Heft 13. Kassel. Fischer. 141 S.

22. W. A. Nagel. *Die niederen Sinne der Insekten.* A. Moser (Franz Pietzcker). Tübingen. 68 S.

23. F. Purcell. *Ueber den Bau und die Entwickelung der Phalangidenaugen.* Zool. Anz. XV. No. 408. S. 461.

24. K. W. Schlampp. *Das Auge des Grottenolmes.* Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 53. 4. S. 537—558.

25. O. Schultze. *Zur Entwickelungsgeschichte des Gefäfssystems im Säugethier-Auge.* Festschr. f. Kölliker. Leipzig. Engelmann. 41 S.

1893.

26. Th. Adensamer. *Ueber das Auge von Sentigera coleoptrata.* Verh. d. Zool. Bot.-Ges. in Wien. 1893. 1. Sitzgs.-Ber. S. 8.

27. E. Béraneck. *L'individualité de l'oeil pariétal.* Anat. Anz. VIII. S. 669—677.

28. C. Chun. *Leuchtorgan und Facettenauge. Ein Beitrag zur Theorie des Sehens in grofsen Meerestiefen.* Biol. Centralbl. XIII. S. 544—571.

29. L. Joubin. *Note sur une adaptation particulière de certains chromatophores chez un céphalopode (l'oeil thermoscopique de Chiroteuthis Bomplandi Vérany?).* Bull. de la soc. zool. de France. Tome XVIII. 1893.

30. A. Klinckowström. *Beiträge zur Kenntnifs der Augen von Anableps tetrophthalmus.* Skand. Arch. f. Physiol. V. S. 67—70.

31. C. Kohl. *Rudimentäre Wirbelthieraugen.* Bibl. zool. v. Leuckart u. Chun. 13. u. 14. Heft. 1. Lfrg. Stuttgart. Nägele.

32. L. Matthiessen. *Die physiologische Optik der Facettenaugen unseres einheimischen Leuchtkäfers.* Nach der Exner'schen Theorie des aufrechten Netzhautbildes. Arch. d. Ver. d. Freunde d. Naturgesch. in Mecklenburg. 46. (2.) S. 100—104.

33. — *Die physiologische Optik der Facettenaugen unseres einheimischen Leuchtkäfers.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 186—191.

1894.

34. A. Kiesel. *Untersuchungen zur Physiologie des facettirten Auges.* (Aus Sitzgs.-Ber. d. Kgl. Akad. d. Wiss.) Diss. Marburg. 1894. 43 S. Wien. F. Tempsky. 43 S.

35. A. Klinckowström. *Beiträge zur Kenntnifs des Parietalauges.* Zool. Jahrb. Abth. f. Anat. VII. 2. S. 249.

36. M. v. Lenhossék. *Zur Kenntnifs der Netzhaut der Cephalopoden.* Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 58. S. 636—661. Vorl. Mittheilung: Sitzgs.-Ber. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg. 1894. S. 110—114.

437. A. Mallock. *Insect sight and defining power of composite eyes.* Proc. Roy. Soc. LV. No. 332. S. 85.
438. H. B. Merrill. *Preliminary note on the eye of the Leach.* Zool. Anz. XVII. 454. S. 286.
439. Fr. Purcell. *Ueber den Bau der Phalangidenaugen.* Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 58. S. 1—53.
440. G. J. Stoney. *On the limits of vision: with special reference to the vision of insects.* Philos. Mag. Bd. 37. No. 226. S. 316—331.
441. C. Ziem. *Geschichtliche Notiz über den Fächer im Auge der Vögel.* Zeitschr. f Psychol. VI. S. 474.

3. Allgemeine Anatomie des menschlichen Auges.

Aeltere Darstellungen sind:

1738.

442. J. Taylor. *Le méchanisme, ou le nouveau traité de l'anatomie du globe de l'oeil avec l'usage de ses différentes parties, et de celles qui lui sont contigues.* Paris.

1780.

443. J. G. Zinn. *Descriptio anatomica oculi humani iconibus ill., nunc altera vice edita et necessario supplemento, novisque tab. acuta ab H. A. Wrisberg.* Gottingae.

1801.

444. Th. Sömmering. *Abbildungen des menschlichen Auges.* Frankfurt a. M. 1801.

1804.

445. Th. Sömmering. *Jcones oculi humani.* Francof.

1842.

446. C. F. Th. Krause. *Handbuch der menschlichen Anatomie.* Hannover 1842. Bd. I Thl. II. S. 511—551. (Enthält auch eine Zusammenstellung der älteren Litteratur.

1847.

447. E. Brücke. *Anatomische Beschreibung des menschlichen Augapfels.* Berlin 1847

1849.

448. W. Bowman. *Lectures on the parts concerned in the operations on the eye and on the structure of the retina and the vitreous humour.* London.

1854.

449. A. Kölliker. *Mikroskopische Anatomie oder Gewebelehre des Menschen.* Leipzig 1854. Bd. II. S. 605.

Zusammenstellungen der gesammten Litteratur finden sich u. a. in den verschiedenen Jahresberichten; sowie in:

Gräfe-Sämisch. *Handbuch der gesammten Augenheilkunde.* Leipzig 1876 Bd. I. S. 144—168 254—264, 318—320, 327—328, 352—353, 451—457 und 477—479.
Schwalbe. *Lehrbuch der Anatomie der Sinnesorgane.* Erlangen 1883.

---

§ 2.

Sehnenhaut und Hornhaut. Dimensionen des Auges. Ophthalmometrie. Intraocularer Druck.

Wegen der speciell anatomischen Litteratur der Sehnenhaut und Hornhaut siehe § 1, 3. Hinsichtlich der Verschiedenheit der Hornhautkrümmung nach verschiedenen Richtungen ist auch die Litteratur in § 14, 2 zu beachten.

1723.

450. F. P. du Petit. *Mémoire sur les yeux gelés, dans lequel on détermine la grandeur des chambres qui renferment l'humeur aqueuse.* Mém. de l'Acad. des sciences de Paris. S. 54.

1725.

451. F. P. du Petit. Mémoire de l'Acad. d. sc. de Paris. S. 48.

1726.

52. F. P. du Petit. *Mémoire sur plusieurs découvertes faites dans les yeux de l'homme, des animaux à quatre pieds etc.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris. S. 375.

1728.

53. F. P. du Petit. *Différentes manières de connoître la grandeur des chambres de l'humeur aqueuse dans les yeux de l'homme.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris. S. 408.

1730.

54. F. P. du Petit. *Mémoire sur le cristallin de l'oeil de l'homme, des animaux à quatre pieds etc.* Mém. de l'Acad. d. Sciences. S. 4.

1738.

55. Jurin. *Essay upon distinct and indistinct vision.* S. 141 in Smith's Complete System of Optics.

1739.

56. Helsham. *A Course of Lectures on Natural Philosophy.* London 1739.

1740.

57. Wintringham. *Experimental inquiry on some parts of the animal structure.* London 1740.

1801.

58. Th. Young. *On the mechanism of the eye.* Philos. Transact. S. 23.

1818.

59. D. W. Soemmering. *De oculorum hominis animaliumque sectione horizontali.* Göttingen 1818. S. 79*.

1819.

60. Chossat. *Sur la courbure des milieux réfringents de l'oeil chez le boeuf.* Ann. de chim. et phys. X.

61. D. Brewster. Edinburgh Philosoph. Journal. 1819. No. I. S. 47.

1823.

62. Purkinje. *De examine physiologico organi visus et systematis cutanei.* Vratislaviae.

1828.

63. G. R. Treviranus. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge.* Bremen. 1828. Heft I. S. 20*. — Hier sind auch die Resultate der älteren Beobachter zusammengestellt.

1832.

64. C. Krause. *Bemerkungen über den Bau und die Dimensionen des menschlichen Auges.* Meckel's Arch. f. Anat. u. Physiol. Bd. VI. S. 86*. (Beschreibung der Methode und Messungen an zwei Augen.) Auszug davon in Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 93*.

1836.

65. C. Krause. *Ueber die Gestalt und Dimensionen des Auges.* Poggd. Ann. Bd. XXXIX. S. 529* (Messungen an acht menschlichen Augen).

1840.

66. R. H. Kohlrausch. *Ueber die Messung des Radius der Vorderfläche der Hornhaut am lebenden menschlichen Auge.* Oken's Isis. Jahrg. 1840. S. 886*.

1841.

67. R. H. Kohlrausch. *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* Berlin. S. 16—93.

1846.

68. Senff. R. Wagner's Handwörterbuch d. Physiol. Bd. III. Abth. 1. Art.: Sehen. S. 271*.

1847.

69. E. Brücke. *Beschreibung des menschlichen Augapfels.* S. 4 u. 45*.

1855.

70. H. Helmholtz. *Ueber die Accommodation des Auges.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. I (2.) S. 3.

1856.

71. W. Zehender. *Anleitung zur Dioptrik des Auges.* Erlangen.

1857.

72. F. Arlt. *Zur Anatomie des Auges.* Arch. f. Ophthalm. III. (2.) S. 87.

1858.

73. Nunneley. *On the organs of vision.* London. S. 129.

1859.

474. J. H. Knapp. *Die Krümmung der Hornhaut des menschlichen Auges.* Habilit.-Schr. Heidelberg. Arch. f. Ophthalm. VI. (2.) S. 1—52.

1860.

475. Meyerstein. *Beschreibung eines Ophthalmometers nach Helmholtz.* Pogg. Ann. CXI. 415—425. Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. XI. 185—192.

1861.

476. v. Jäger. *Ueber die Einstellung des dioptrischen Apparates im menschlichen Auge.* Wien.

1863.

477. F. C. Donders. *Ueber einen Spannungsmesser des Auges. (Ophthalmotonometer.)* Graefe's Arch. IX. (2.) S. 215.

1864.

478. R. Schelske. *Ueber das Verhältnifs des intraocularen Drucks zur Hornhautkrümmung.* Arch. f. Ophthalm. X. 2. S. 1—46.

1865.

479. H. Dor. *Ueber ein verbessertes Tonometer.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 351.
480. L. Mandelstamm. *Zur Ophthalmometrie.* Arch. f. Ophthalm. XI. 2. S. 259.
481. B. Rosow. *Zur Ophthalmometrie.* Arch. f. Ophthalm. XI. 2. S. 129.

1867.

482. A. Weber. *Einige Worte über Tonometrie.* Graefe's Arch. XIII. S. 201.

1868.

483. E. Adamück. *Noch einige Bemerkungen über den Intraoculardruck.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 386.
484. H. Dor. *Ueber Ophthalmotonometrie.* Graefe's Arch. XIV. (1.) S. 13. — Compt. Rend. du Congr. d'Ophthalm. Paris.

1869.

485. H. Gerold. *Ophthalmologische Optik.* Wien.
486. L. Mauthner. *Ueber den Winkel α.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. VII. S. 481. Wien. med. Presse. No. 34—37.
487. A. J. W. Monnik. *Tonometers and Tonometrie.* Verslag v. het Ned. Gasth. voor ooglijders. No. X. S. 55.
488. Strawbridge. *Ophthalmometrische Messungen.* Sitzgs.-Ber. d. ophthalm. Ges. Klin. Mon.-Bl. S. 480.
489. Reuss und Woinow. *Ophthalmometrische Studien.* Wien.
490. Woinow. *Ueber den Winkel α.* Klin. Monatsbl. VII. S. 482.
491. — *Neuer Apparat zu ophthalmometrischen Messungen.* Med. C. Bl. 1869. S. 497—498.

1870.

492. F. Holmgren. *Om ophthalmometran. (Ueber Ophthalmometer).* Upsala Läkaref. Förh. VI. S. 169—208.
493. A. J. W. Monnik. *Een nieuwe tonometer en zyn gebruik.* Ned. Arch. voor Genees- en Natuurk. V. S. 66. — Onderz., gedaan in het Physiol. Labor. der Utrechtsche Hoogeschool. III. S. 20.
494. — *Ein neues Tonometer und sein Gebrauch.* Graefe's Arch. XVI. (1.) S. 49.
495. M. Woinow. *Ueber Ophthalmometrie.* (Russisch.) Milit. Med. Zeitschr. St. Petersburg.
496. — *Weitere Beiträge zur Kenntnifs des Winkels α.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 225.

1871.

497. F. Holmgren. *En opthalmometer. (Ein Ophthalmometer.)* Upsala Läkaref. Förh. VII. S. 171—172.
498. E. Pflüger. *Beiträge zur Ophthalmotonometrie.* Diss. Bern.
499. Woinow. *Ophthalmometrie.* Wien.
500 — *Analyse critique de la méthode ophthalmométrique de l'investigation des éléments dioptriques de l'oeil.* Diss. inaug. Moscou.

1872.

501. A. Coccius. *Ophthalmometrie und Spannungsmessung am kranken Auge.* Leipzig 55 S.
502. K. Hällstén. *Lärobok i Ophthalmometrie.* Helsingfors. 1872.

03. Woinow. *Ophthalmometrische Messungen an Kinderaugen.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 280.

1873.

04. C. L. Ferge. *Ein neues Instrument zur Bestimmung des Durchmessers der Hornhautbasis und der Pupillenenge.* Leipzig.

05. A. v. Reuss. *Ophthalmometrische Messungen bei Keratoconus.* Wiener Med. Presse.

1874.

06. Bauer. *Ueber den scheinbaren Ort eines in einem dichteren durchsichtigen Medium befindlichen, sowie eines durch eine sogenannte planparallele Platte beobachteten Lichtpunktes.* Pogg. Ann. Bd. 153. S. 572

07. Hirschberg. *Zur ophthalmometrischen Rechnung (Ableitung der Grundformel für den Krümmungsradius eines beliebigen Ellipsenpunktes).* Arch. f. Augen- und Ohrenheilkde. III. 2. S. 160.

08. M. Reich. *Resultate einiger ophthalmometrischer und mikrooptometrischer Messungen.* Arch. f. Ophthalm. XX. (1.) S. 207.

09. Snellen und Landolt. *Ophtalmometrie* in Graefe-Sämisch, Handb. d. ges. Augenheilkde. Bd. III. S. 204.

1875.

10. Mönnich. *Untersuchungen über die scheinbare Ortsveränderung eines leuchtenden Punktes durch ein von zwei parallelen Ebenen begrenztes lichtbrechendes Medium.* Rostock.

1876.

11. O. E. Shakespeare. *Description of a new ophthalmoscope and ophthalmometer.* Americ. Journ. of med. Sc. Bd. 141. S. 45.

1877.

12. E. Landolt. *Ophthalmometer.* Centralbl. f. prakt. Augenhlkde. I. S. 233.

13. W. Röder. *Ueber Kapseldurchschneidungen und dadurch bedingte Krümmungsveränderungen der menschlichen Hornhaut.* Arch. f. Ophthalm. XXIII. 4. S. 29—56.

1878.

14. J. G. Ditlevsen. *Die Nerven der Hornhaut.* (Dänisch.) Nord. med. Arch. X. No. 5.

15. E. Landolt. *L'ophthalmomètre.* Compt. Rend. et mém. du congr. intern. de Genève. S. 772.

1880.

16. M. Blix. *Oftalmometriska Studier I.* Acad. Afh. Upsala. XVI. 6. S. 349—420.

17. E. v. Fleischl. *Ueber eine optische Eigenschaft der Cornea.* Wien. Ber. Bd. 82. Abth. 3.

18. E. Javal. *Ophthalmometer.* Ann. di Ottalm. IX. 3/4. S. 372. Ann. univ. di med. e chir. Parte rivista. Vol. 254. S. 353.

19. Loring. *The Keratometer.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. XVI. ann. meet. S. 136—141. Centralbl. f. prakt. Augenhlkde. IV. S. 349.

20. A. Placido. *Nouvel instrument pour la recherche rapide des irrégularités de courbure de la cornée: l'astigmatoscope explorateur.* Period. de Oftalm. prat., rev. bimens. Lissabon. Sept.-Nov. 1880.

21. A. v. Reuss. *Ophthalmometrische Mittheilungen.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (3.) S. 1.

22. Sczelkow. *Zur Frage über die Veränderungen der Hornhautkrümmungen bei zunehmendem Alter.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XVIII. No. 44. S. 819.

1881.

23. M. Blix. *Ophthalmometer.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. S. 381.

24. E. Javal. *Mesure du rayon de courbure de la cornée.* Séances de la soc. de phys. S. 59.

25. Javal und Schiötz. *Un ophthalmomètre pratique.* Transact. of the internat. med. Congr. VIII. session. London. III. S. 30. Ann. d'Oculist. Bd. 86. S. 5—21.

26. A. v. Reuss. *Untersuchungen über den Einfluſs des Lebensalters auf die Krümmung der Hornhaut nebst einigen Bemerkungen über die Dimensionen der Lidspalte.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (1.) S. 27.

27. Schiötz. *Ophthalmométrie.* Dict. encycl. dirig. par Dechambre. XVI. 1. S. 75—82.

1882.

28. G. Albertotti. *Graduazione dell' oftalmometro di Helmholtz.* Atti della R. Accad. delle Sc. di Tor. XVII.

529. M. Blix. *Nya bidrag till oftalmometricus utveckling.* Upsala Läkaref. Förh. XVII. S. 98
530. Fraenkel. *Keratoscop.* Centralbl. f. prakt. Aerzte. S. 89.
531. Gavarret. *Astigmatisme et ophthalmométrie.* Rev. Scientif. XXX. S. 74.
532. Hasner. *Ueber Dr. Placido's Keratoscop.* Prag. med. Wochenschr. S. 121.
533. Hirschberg. *Keratoscop.* Centralbl. f. prakt. Augenhlkde. S. 59.
534. E. Javal. *Contribution à l'ophthalmométrie.* Ann. d'Oculist. Bd. 87. S. 213.
535. — *Deuxième contribution à l'ophthalmométrie.* Ann. d'Ocul. Bd. 88. S. 33.
536. G. Mayerhausen. *Notiz zur klinischen Veranschaulichung des Winkels γ.* Centralbl f. prakt. Augenheilkde. Jahrg. VI. S. 123.
537. F. R. Perez-Caballero. *La oftalmometrologia, sus procedimientos y aplicaciones* Rev. esp. de oftalm. sif. etc. Madrid. I. S. 16, 129, 321.

1883.

538. Dörffel. *Das stabile Keratoscop.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 30.
539. Höltzke. *Experimentelle Untersuchungen über den Druck in der Augenkammer* Arch. f. Ophthalm. XXIX. (2.) S. 1.
540. E. Javal. *Ophthalmomètre.* Bull. et mém. de la Soc. franç. d'Ophthalm. S. 31.
541. — *Troisième contribution à l'ophthalmométrie. Déscription de quelques image kératoscopiques.* Ann. d'Ocul. Bd. 89. S. 5.
542. — *Quatrième contribution à l'ophthalmométrie.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 105.
543. — *Sur l'ophthalmométrie. (Influence de la taille et de la race sur les dimensions d la cornée.)* Bull. de la soc. d'anthrop. 5 juill. S. 621.
544. A. König. *Das Ophthalmometer, seine Construction und seine Theorie.* Zeitschr f. Instr.-Kde. III. S. 153—158.
545. Landsberg. *The keratoscope.* Phil. Med. Times. VIII. S. 784.
546. Laqueur. *Ophthalmometrische Untersuchungen über Verhältnisse der Hornhau krümmung im normalen Zustand und unter pathologischen Bedingungen.* Ber. c XV. Vers. d. ophthalm. Ges. S. 17.
547. H. Schiötz. *Om nogle optiske Egenskaber ved Cornea.* Nord. med. Arch. XIV No. 28.
548. Wecker und Masselon. *La kératoscopie clinique.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 165

1884.

549. Hubert et J. M. Prouff. *Kératoscopie, nouveau kératoscope.* Rev. clin. d'ocu Mai. S. 110.
550. E. Javal. *Variation de courbure de la cornée en synchronisme avec les pulsation cardiaques.* Progr. méd. No. 43.
551. — *Variations rythmiques de la courbure de la cornée.* Compt. Rend. Soc. de Bio 18. Oct. S. 581.
552. Laqueur. *Ueber die Hornhautkrümmung im normalen Zustande und unter patho logischen Verhältnissen.* Graefe's Arch. Bd. 30. (1.) S. 99.
553. A. Leahy. *On keratoscopy as a means of diagnosing errors of refraction.* Indian med. Gaz. XIX. S. 184.
554. F. R. Perez-Caballero. *La oftalmometrologia, sus procedimientos y aplicacione.* Rev. esp. de oftalm. sif. etc. Madrid. VIII. S. 237.
555. J. M. Prouff. *De la sclérotoscopie.* Rev. d'ocul. de Sud-Ouest. Febr. 1884.
556. Uhthoff. *Ueber eine neue Methode, den Winkel α, resp. γ zu bestimmen.* Sitzgs Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg.
557. Wecker und Masselon. *Kératoscopie clinique.* Paris. 1884.
558. — *L'arc kératoscopique, son emploi comme kératoconomètre, pupillomètre et strabo mètre.* Rev. clin. d'ocul. S. 201.
559. — *La kératoconométrie.* Rev. clin. d'ocul. IV. S. 5.
560. — *La queratoscopia clinica.* Oftalm. pract. III. S. 25.
561. H. Westien. *Mittheilungen aus dem physiologischen Institut der Universität Rostoc (über den Gang der Lichtstrahlen in der accommodirten und ruhenden Linse un durch die Ophthalmometerplatten).* Zeitschr. f. Instr.-Kkde. Klin. Mon.-Bl. Augenheilkde. S. 217.

1885.

562. H. Aubert. *Nähert sich die Hornhautkrümmung am meisten der Ellipse?* Pflüger Arch. XXXV. 597—621.
563. S. M. Burnett. *Ophthalmometry with the ophthalmometer of Javal and Schiöt* Arch. of Ophthalm. XIV. No. 2/3. S. 169.

64. Höltzke. *Experimentelle Untersuchungen über den intraocularen Druck.* Verh. d. Physiol. Ges. zu Berlin, 22. Mai 1885.
65. E. Javal. *Mensuration de la courbure de la cornée.* Gaz. d. Hôp. S. 1011.
66. L. Issekuts. *Ophthalmometrie-Tafeln.* Szemészet. S. 87.
67. Prouff. *Kératoscope.* Arch. d'Ophthalm. S. 182.
68. — *Sclérotoscopie.* Arch. d'Ophthalm. 1885. S. 165.
69. Schiötz. *Ophthalmometrische und optometrische Untersuchung von 969 Augen.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 37.

1886.

70. G. Albertotti. *Determinazione pratica dell'angolo α.* Rasseg. di sc. med. I. S. 253.
71. L Bellarminow. *Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung des intraocularen Drucks.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 39. S. 449—472.
72. J. Boedeker. *Vergleichende Druckmessung in der vorderen Kammer und dem Glaskörper des Auges.*
73. Bourgeois und Tscherning. *Recherches sur les relations qui existent entre la courbure de la cornée, la circonférence de la tête et de la taille.* Ann. d'Ocul. Bd. 96. S. 203.
74. F. Denti. *Nuovo cheratoscopio registratore semplicissimo.* Gazz. med. Ital. Lomb.
75. Leroy. *Sur l'ophthalmomètre de précision.* Ann. d'Ocul. Bd. 95. S. 209.
76. Pr. Smith. *A keratometer.* Ophthalm. Rev. S. 316.
77. M. Tscherning. *Ueber die Abhängigkeit zwischen der Krümmung der Cornea, der Körperhöhe und dem Umfang des Kopfes.* Kopenhagen. Hosp. tid. No. 48.
78. W. Uhthoff. *Ueber eine neue Bestimmungsmethode des Winkels γ zwischen der Blicklinie und der durch den Hornhautmittelpunkt gehenden Senkrechten.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXIV. 304—309.
79. Weiss. *Ueber den Einfluſs der Spannung der Augenlider auf die Krümmung der Hornhaut und damit auf die Refraction des Auges.* Ber. d. Ophthalm. Ges. zu Heidelberg. 1886. S. 72.
80. W. Zehender. *Eine binoculäre Cornealoupe.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 504.

1887.

81. L. Bellarminow. *Verbesserter Apparat zur graphischen Untersuchung des intraoculären Drucks und der Pupillenbewegung.* Ber. d. 19. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 126. Ann. d'Ocul. Bd. 97. S. 181.
82. Cuignet. *Des images kératoscopiques.* Ann. d'Ocul. Bd. 97. S. 229. Und: Rec. d'Ophthalm. S. 262.
83. F. Denti. *Nuovo cheratoscopio registratore semplicissimo.* Ann. di Ottalm. XV. 5/6. S. 588.
84. E. Javal. *Sur l'ophthalmométrie pratique.* Soc. franç.
85. M. Tscherning. *Ophthalmométrie.* Soc. franç. d'Ophthalm. S. 199.
86. — *Contribution à l'ophthalmométrie pratique.* Soc. franç. d'ophthalm. S. 11.
87. H. Westien. *Ophthalmometerplattenmodell nach Prof. Aubert.* Zeitschr. f. Instrum.-Kde. VII. S. 52.
88. W. Zehender. *Beschreibung der binocularen Cornealoupe.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 496.

1888.

89. L. Bellarminow. *Vervollkommneter Apparat für die graphische Untersuchung des intraocularen Druckes und der Pupillenbewegung.* (Russisch.) Westnik. ophthalm. V. 2. S. 142.
90. M. S. Burnett. *An analysis of 576 cases of the refraction of healthy human corneae, examined with the ophthalmometer of Javal and Schiötz.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 199.
91. E. Desjardins. *De la kératoscopie comme moyen de diagnostic dans l'astigmatisme.* Gaz. méd. de Montréal. II. S. 214.
92. W. Eissen. *Hornhautkrümmung bei erhöhtem intraocularem Druck.* Inaug.-Diss. Bern. 1888. — Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. 2. S. 1.
93. E. Javal. *Ueber Ophthalmometrie.* Ber. d. 7. internat. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 25.
94. — *Ophthalmometer.* Rec. d'Ophthalm. S. 315.
95. — *Un perfectionnement à l'ophthalmomètre.* Compt. Rend. de la soc. franç. d'ophthalm. S. 237.

596. C. J. A. Leroy. *Nouvel ophthalmomètre.* Arch. d'Ophthalm.
597. — *Sur la forme de la cornée humaine normale.* Compt. Rend. Bd. 107. S. 69(
598. A. Leroy und R. Dubois. *Nouvel ophthalmomètre.* Rev. gén. d'Ophthalm. Und Ann. d'Oculist. Bd. 99. S. 123.
599. G. Secondi. *Variabilita dell'angolo α nelle diverse direzioni dello sguardo.* Giorn. d. R. Accad. di med. di Torino. S. 494.
600. Tscherning. *Ophthalmometer.* Rec. d'Ophthalm. S. 315.

1889.

601. G. Albertotti. *Considerazioni riguardanti l'oftalmometro di Leroy e Dubois.* Rasseg. di sc. med. S. 382.
602. H. Ferrer. *Javal'sches Ophthalmometer.* Ber. üb. d. 20. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 170.
603. C. J. A. Leroy. *Quelques perfectionnements de l'ophthalmomètre Leroy et Dubois.* Rev. gén. d'Ophthalm. VIII. S. 111.
604. — *Recherches sur l'influence exercée par les muscles de l'oeil sur la forme normale de la cornée humaine.* Arch. de physiol. janv.
605. E. Meyer. *De la forme de l'hémisphère antérieur de l'oeil déterminée par la mensuration des courbures de la cornée et de la sclérotique.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 529.
606. Schneller. *Ueber Formveränderungen des Auges durch Muskeldruck.* Graefe Arch. f. Ophthalm. XXXV. (1.) S. 76—112.
607. P. Smith. *On the size of the cornea in relation to age, sex, refraction and primary glaucoma.* Transact. of the Ophthalm. Soc. X. 1889/90. S. 68. Ophthalm. Rev. S. 38(

1890.

608. Bajardi. *Alcune osservazioni sulla forma della cornea.* XII. Congresso del Associazione Oftalmologica Ital. Pisa. 1890. Ann. di Ottalm. XIX.
609. C. du Bois-Reymond. *Keratoskop zur Messung des Hornhaut-Astigmatismu* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XIV. S. 257—259.
610. S. Boss. *Ueber Veränderungen des Hornhautradius unter dem Einflusse von Atropi Homatropin, Physostigmin und Cocain.* Dissert. Strafsburg 1890.
611. E. Meyer. *Hémisphère antérieur de l'œil déterminé par la mensuration des courbures de la cornée et de la sclérotique.* Ann. d'Ocul. Bd. 103. S. 32.
612. Pfister u. Streit. *Ophthalmometer nach Javal und Schiötz in modificirt Construction ausgeführt.* Bern. 1890.
613. Pflüger. *Ophthalmometer und Oculo-Curvimeter.* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzt XX.
614. J. Roth. *Ueber Astigmatismus und Ophthalmometrie.* Dissert. Zürich. Wiesbade Bergmann. 1890. 67 S.
615. Schmidt-Rimpler. *Demonstration der Westien-Zehender'schen binoculär Cornealoupe.* Berl. klin. Wochenschr. No. 3.
616. Scimeni. *Sulla modificazione della curvatura della cornea in seguito ad estrazio di cataratta.* Ann. di Ottalm. XIX. S. 209.
617. Speakman. *Description of Javal's new ophthalmometer, model of 1889.* Arc ophth. New-York. XIX. S. 76.
618. D. E. Sulzer. *Méthode pour déterminer le pôle d'un ellipsoïde à trois axes inégau par l'observation de ses images catoptriques.* Compt. Rend. Bd. 110. S. 568.
619. Tscherning. *Une nouvelle méthode pour mesurer les rayons de courbure du cristallin.* Rév. gén. d'Ophth. S. 218.

1891.

620. H. Aubert. *Die Genauigkeit der Ophthalmometer-Messungen.* Pflüger's Arch. XLI S. 626—638.
621. P. Bajardi. *Alcune osservazioni sulla forma della cornea.* Ann. di Ottalm. XX. S. 28
622. — *Eine Modification des Ophthalmometers zur gleichzeitigen Messung der zu Hauptmeridiane der Cornea.* Giorn. dell' Accad. di Med. di Torino. Fasc. 1—
623. Beccaria. *Ophthalmometrische Beobachtungen bei Gehirncompression.* Ann. di Ottal Fasc. 1 et 2.
624. S. M. Burnett. *Contributions to keratometry.* Ophth. Rev. Aug. u. Sept. 18 (Americ. med. Assoc. Section of Ophthalm. Jahrescongrefs zu Washington. Mai 189
625. E. Javal. *Mémoires d'ophthalmométrie.* Paris. G. Masson. 626 S.
626. F. Ostwalt. *Quelques remarques sur l'ophthalmomètre de Javal et de Schiö* Rev. gén. d'Ophthalm. 1891. S. 100.

7. J. B. Story. *The ophthalmometer in practice.* Ophthalm. Rev. No. 117. S. 193.
8. D. E. Sulzer. *La forme de la cornée et son influence sur la vision.* Arch. d'Ophthalm. Tome XI. S. 419—435.
9. — *La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision.* Progr. méd, No. 19—20. — Rec. d'ophthalm. No. 5. S. 282.
0. Tscherning. *Théorie mathématique de l'ophthalmométrie de la cornée.* Enthalten in Javal, Mém. d'ophthalmométrie. S. 573—618.

1892.

1. E. J. Bissell. *Observations with Javals ophthalmometre.* Journ. of Ophthalm. Oct. 1892.
2. A. E. Davis. *Javals ophthalmometre and atropine in determining errors of refraction with an incidental notice on eye strain and graduated tenotomie.* New York med. Journ. Vol. LVI. No. 15. S. 396.
3. H. Derby. *Recent added facilities for the examination of the eye. I. The Ophthalmometer of Javal-Schiötz. II. The Phorometer of Stevens. III. The Arc-Light adapted for the Ophthalmoscope.* Boston med. and surg. Journ. of June 9. 1892.
4. F. B. Eaton. *Some practical uses of the ophthalmometer of Javal-Schiötz.* Med. Rec. 12. Nov.
5. R. Greeff. *Studien über die Plastik des menschlichen Auges am Lebenden und an den Bildwerken der Antike.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. Jahrg. 1892. S. 113—136.
6. Highet. *L'ophthalmomètre de poche du Dr. Reid.* Arch. d'Ophthalm. XII. S. 174—176.
7. Maklakoff. *Contribution à l'ophthalmotonométrie.* Arch. d'ophthalm. XII. S. 321 bis 349.
8. Sulzer. *Der Einfluſs des Winkels α auf die Resultate der Ophthalmometrie und dessen Bestimmung vermittelst des Ophthalmometers.* Verh. des X. internat. Congr. Bd. IV. S. 138.
9. — *La forme de la cornée et son influence sur la vision.* Paris. Steinheil. 1892.
0. — *La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision.* 2. Partie: *Influence de la cornée sur la vision.* Arch. d'Ophthalm. XII. S. 32—50.
1. C. M. Thomas. *A few observations on the use of Javals ophthalmometre.* Journ. of ophthalm. Oct. 1892.
2. W. Waldeyer. *Ueber die Plastik des menschlichen Auges am Lebenden und an den Bildwerken der Kunst.* Sitzgs.-Ber. d. Berl. Acad. S. 45—46.
3. J. H. Woodward. *The Ophthalmometer of Javal and Schiötz and the diagnosis of astigmatism.* New York med. Journ. Vol. LVI. No. 3. S. 66.

1893.

4. Beccaria. *Aenderung der Hornhautkrümmung bei Vortreibung des Augapfels nach vorn.* Ann. di Ottalm. XXII. 1.
5. H. Bertin-Sans. *Les variations que subissent sous l'influence de l'âge les rayons de courbure du cristallin.* Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 240—244.
6. B. Burbo. *Recherches sur la relation entre la courbure de la sclérotique et celle de la cornée dans le méridien horizontal.* Diss. Clermont. 1893. — Rev. gén. d'Ophthalm. XII. S. 49—65.
7. S. M. Burnett. *Ophthalmometry in the United States and its championship.* Americ. Journ. of Ophthalm. Vol. X. S. 5.
8. H. C. Chapman & A. P. Brubaker. *The radius of curvatures of the cornea.* Proc. Acad. of Nat. Sc. Philad. Sept. 26.
9. J. H. Claiborne. *A hand ophthalmometer and retinoscope combined.* New York med. Journ. Vol. LVIII. S 378.
0. Eriksen. *Hornhinde maolinger (Messung der Hornhaut).* Diss. Aarhus. 1893. — Nord. med. Arch. XXV. 4.
1. D. W. Hunter. *The Ophthalmometer.* New York. med. Journ. Vol. LVII. S. 49.
2. L. J. Lautenbach. *A few thoughts about ophthalmometry, as to what the Javal instrument will do and what it will not do.* Americ. Journ. of Ophthalm. Vol. X. No. 9. S. 278. — Ophthalm. Rec. Vol. III. S. 201.
3. — *The value of ophthalmometer in the determination of the axis and the amount of astigmatism.* New York med. Journ. No. 766. S. 156.

654. Th. Reid. *On a portable ophthalmometer.* Proc. of the Roy. Soc. LIII. S. 1—6.
655. F. Schanz. *Ein Hornhautmikroskop.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXX. S. 99—103.
656. C. Weiland. *History and principles of keratometry; its value and limitation in the correction of astigmatism.* Arch. of Ophthalm. Bd. XXII. S. 37—61.

1894.

657. G. Ahlström. *Oftalmometriska Studier.* (*Ophthalmometrische Studien.*) Göteborg Läkaresällskaps Forhandlingar. 1894. Heft 1.
658. Wm. S. Dennet. *Illumination of the Javal and Schiötz Ophthalmometer.* New York eye and ear infirmary Reports. II. S. 27.
659. L. Ferry. *Determinazione dell' angolo α col perimetro.* Ann. di Ottalm. XXII S. 175.
660. G. W. Grove. *Die Graduierung des Bogens am Javal'schen Ophthalmometer und die Graduierung auf einem geraden Arm.* Ann. of Ophthalm. a. Otol.
661. Moauro. *Réfractométrie et Ophthalmométrie.* Ann. d'Oculist. CXI. S. 350—371.
662. Nicati. *Le problème de la tension intra-oculaire et ses applications.* Rev. gén. d'Ophthalm. XIII. S. 165—167.
663. F. Ostwalt. *Ophthalmotonometrische Studie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XL. (S. 22—49.
664. P. Sgrosso. *Communications cliniques d'optométrie, ophthalmométrie, skiascopie, et* Arch. di Ottalm. II. 1/2.

---

§ 3.

Die Uvea.

Wegen der speciell anatomischen Litteratur siehe auch § 1, 3.

1. Anatomie und Physiologie der Iris und des Ciliarkörpers. — Das Tapetum lucidum.

1728.

665. F. P. du Petit. *Différentes manières de connoître la grandeur des chambres de l'humeur aqueuse dans les yeux de l'homme.* Mém. de l'Acad. Roy. des sciences S. 206 u. 289.

1821.

666. E. H. Weber. *Tractatus de motu iridis.* Lipsiae.

1850.

667. C. Stellwag von Carion. Zeitschr. d. Wien. Aerzte. 3. S. 125.

1851.

668. E. H. Weber. *Summa doctrinae de motu iridis.* Lipsiae.

1852.

669. A. Cramer in Tijdschrift der Nederl. Maatschappij tot bevord. der Geneeskunde 1852. Jan.

1853.

670. A. Cramer. *Het Accommodatievermogen der Oogen.* Haarlem. bl. 61.*

1855.

671. J. Budge. *Ueber die Bewegung der Iris.* Braunschweig. S. 5—10. (Giebt auch die ältere Litteratur der Streitfrage.)
672. H. Helmholtz. *Ueber die Accommodation des Auges.* v. Graefe's Arch. f. Ophthal Bd. I. Abth. 2. S. 30.
673. A. Kussmaul. *Untersuchungen über den Einfluſs, welchen die Blutströmung auf die Bewegung der Iris und auf andere Theile des Kopfes ausübt.* Würzburg. Disse

674. van Reeken. *Ontleedkundig onderzoek van den toestel voor accommodatie van het Oog.* Onderzoekingen gedaan in het Physiol. Laborat. der Utrechtsche Hoogeschool. Jaar VII. 248—586.
675. H. Rouget Gaz. méd. No. 50.

1856.

676. H. Müller. *Réclamation de priorité.* Compt. Rend. XLII. S. 1218—1219.
677. C. Rouget. *Recherches anatomiques et physiologiques sur les appareils érectiles. Appareil de l'adaptation de l'oeuil.* Compt. Rend. XLII. S. 937—941. — Inst. S. 193—194. — Cosmos. VIII. S. 559—560.
678. — *Réponse à une réclamation de priorité adressée par M. Müller.* Compt. Rend. XLII. S. 1255—1256. — Inst. S. 245. — Cosmos. IX. 9.

1857.

679. F. Arlt. *Zur Anatomie des Auges.* Arch. f. Ophthalm. III. (2.)
680. H. Müller. *Ueber einen ringförmigen Muskel am Ciliarkörper.* Arch. f. Ophthalm. III. (1.)

1858.

681. H. Müller. *Einige Bemerkungen über die Binnenmuskeln des Auges.* Arch. f. Ophthalm. IV. (2.) S. 277—285.

1860.

682. W. Henke. *Der Mechanismus der Accommodation für Nähe und Ferne.* Arch. f. Ophthalm. VI. (2.) S. 53—72.

1863.

683. O. Becker. *Lage und Function der Ciliarfortsätze im lebenden Menschenauge.* Wien. med. Jahrb. S. 159.

1865.

684. F. C. Donders. *Reflexie-beweging der beide pupillen bij het invallen von licht aan éene zijde.* Nederl. Arch. voor Gen.-en Natuurk. II.
685. A. Grünhagen. *Ueber Irisbewegung.* Virchow's Arch. XXX. S. 481—524.
686. — *Bemerkungen, die Bewegung der Iris betreffend.* Berl. klin. Wochenschr. No. 23 u. 24.
687. Fr. Holmgren. *Untersuchung, betreffend den Bewegungsmechanismus der Iris mit Hilfe von Kalabar und Atropin.* Drei Abhandlungen. Upsala Läkaref. Förh. I. S. 64—76. S. 160—177. II. S. 148—160. (1865—1866.)

1866.

688. F. C. Donders u. D. Doijer. *Reflexie-beweging der beide pupillen, bij het invallen von licht aan éene zijde.* Amsterdam.
689. A. Grünhagen. *Ueber das Vorkommen eines Dilatator pupillae in der Iris des Menschen und der Säugethiere.* Zeitschr. f. rat. Med. Bd. 28. S. 176.

1867.

690. F. E. Schulze. *Der Ciliarmuskel des Menschen.* Arch. f. mikr. Anat. 1867. Bd. III. (4.) S. 477.

1868.

691. A. Eulenburg u. H. Schmidt. *Untersuchungen über den Einfluſs bestimmter Galvanisationsweisen auf die Pupille etc.* Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 321. 338.
692. M. Schiff. *Sui movimenti dell' iride etc.* Giorn. d. sc. nat. e. econ. Palermo. IV. S. 40.
693. S. Schur. *Einfluſs des Lichts, der Wärme und einiger anderer Agentien auf die Weite der Pupille.* Zeitschr. f. rat. Med. XXXI. (3.) S. 373.

1869.

694. F. Arlt jun. *Beitrag zur Kenntniſs der Zeitverhältnisse bei den Bewegungen der Iris.* Arch. f. Ophthalm. XV. (1.) S. 294—301.
695. J. Dogiel. *Ueber den M. dilatator pupillae bei Säugethieren, Menschen und Vögeln.* Arch. f. mikrosk. Anat. VI. (1.) S. 89.
696. G. Engelhardt. *Beiträge zur Lehre von den Bewegungen der Iris.* Leipzig. (Unters. a. d. physiol. Labor. zu Würzburg. 4. Heft. S. 297.)
697. A. Grünhagen. *Ueber den vermeintlichen Dilatator pupillae der Kaninchen-Iris.* Zeitschr. f. rat. Med. XXXVI. (1.) S. 40.
698. A. Iwanoff u. A. Rollett. *Bemerkungen zur Anatomie des Iris-Anheftung und des Annulus ciliaris.* Arch. f. Ophthalm. XV. Abth. 1. S. 17.
699. H. Schoeler. *Experimentelle Beiträge zur Kenntniſs der Irisbewegung.* Dissert. Dorpat.

1870.

700. A. Grünhagen. *Zur Irisbewegung.* Pflüger's Arch. f. Phys. III. S. 440.

1874.

701. P. Franciel. *Sur les mouvements de l'iris.* Paris.
702. A. Schlesinger. *Eine Innervationserscheinung der Iris.* Pest. med.-chir. Press X. S. 13—14.
703. A. Vulpian. *Note relative à l'influence de l'exstirpation du ganglion cervical su périeur sur les mouvements de l'iris.* Arch. de physiol. S. 177.

1875.

704. Albini. *Rapporti fra i movimenti dell' iride e la funzione visiva.* Rendic. d. Na XIV. No. 12. S. 216.
705. Debovzy. *Considérations sur les mouvements de l'iris.* Paris. Delahaye. 1875.

1876.

706. Fr. Holmgren. *Untersuchung über die Irisbewegungen.* Upsala Läkaref. Förh. X S. 476—481.

1877.

707. S. Rembold. *Ueber Pupillarbewegung.* Tübingen.

1878.

708. Argyropulos. *Beiträge zur Physiologie der Pupillarnerven.* Inaug.-Disse Giefsen. 1878.
709. H. F. Formad. *Die Vertheilung der Nerven in der Iris.* Americ. Journ. of me Sc. Jan. 1878.
710. Hurwitz. *Ueber Reflexdilatation der Pupille.* Inaug.-Diss. Erlangen. 1878.
711. A. Meyer. *Ueber Nervenendigungen der Iris.* Centralbl. f. med. Wiss. 1878. No.
712. Nachtel. *Dilatation de la pupille.* Progr. méd. No. 24.
713. Picard. *Ueber die Bewegungen der Pupille.* Gaz. des Hôp. No. 93. Gaz. hebdo S. 314.
714. E. Rählmann u. L. Witkowski. *Ueber das Verhalten der Pupillen im Schlaf ne Bemerkungen zur Innervation der Iris.* du Bois' Arch. f. Physiol. Jahrg. 1878.

1879.

715. F. J. C. Ackroyd. *Ueber Irisbewegung.* Journ. of physiol. XIII. S. 146.
716. E. Gysi. *Beiträge zur Physiologie der Iris.* Berner Diss. Aarau. 39 S.

1880.

717. Heddaeus. *Klinische Studien über die Beziehungen zwischen Pupillarreaktion u Sehvermögen.* Inaug.-Diss. Berlin. 1880.
718. B. Luchsinger. *Ueber den Einflufs des Lichtes und der Wärme auf die Iris ein Kaltblüter.* Mitth. d. naturf. Ges. Bern. Abth. 102.

1881.

719. F. Franck. *Recherches sur les nerfs dilatateurs de la pupille.* Trav. du labo de Marey. S. 1.
720. G. Jorissenne. *Les mouvements de l'iris chez l'homme à l'état physiologiq* Paris. Delahaye. Ann. et Bull. de la soc. de méd. de Gand. Juli u. Aug. 1881.
721. J. Leeser. *Beitrag zur Physiologie der Pupillarbewegung.* Halle.
722. — *Die Pupillarbewegung in physiologischer und pathologischer Beziehung.* W baden. 124 S.
723. P. Lutze. *Warum mufs vom physiologischen Standpunkte aus ein musculus di tator pupillae gefordert werden?* Diss. Leipzig. 20 S.
724. Moriggia. *Sul' mecanismo dei movimenti dell' iride.* R. Accad. dei Lincei. (IV. S. 219—224.
725. M. v. Vintschgau. *Zeitbestimmungen der Bewegungen der eigenen Iris.* Pflüg Arch. Bd. 26. S. 324.

1882.

726. Brailey. *On some points in the anatomy of the ciliary body.* Brit. med. Jou II. S. 577.
727. O. Everbusch. *Vergleichende Studien über den feineren Bau der Iris.* Zeits f. vergl. Augenheilkde. S. 49.
728. Féré. *Mouvements de la pupille.* Journ. de Thérap. No. 2. — Progr. méd. (81.) 53. — Soc. de Biol. 17. Dec. 1881.
729. B. Luchsinger. *Ueber die Wirkung von Kälte und Wärme auf die Iris der Frös* Mitth. d. naturf. Ges. in Bern. 1882. S. 74.

730. Moriggia. *Die Bewegungen der Iris und ihr Mechanismus.* Moleschott's Unters. z. Naturl. d. Menschen u. d. Thiere. XIII. 1. S. 1.
731. H. Munk. *Ueber das Tapetum der Säugethiere.* Verh. d. physiol. Ges. zu Berlin. 1882/83. S. 2.
732. Parinaud. *De l'exagération des réflexes pupillaires.* Gaz. des Hôp. Rec. d'Ophth. S. 688.
733. Parrot. *Sur un phénomène pupillaire observé dans quelques états pathologiques de la première enfance.* Rev. de méd. S. 809.
734. M. Preusse. *Ueber das Tapetum des Haussäugethiere.* Arch. f. Thierheilkde. VIII. S. 264—280.
735. Schadow. *Beiträge zur Physiologie der Irisbewegung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXVIII. (3.) S. 183.
736. M. v. Vintschgau. *Weitere Beobachtungen über die Bewegung der eigenen Iris.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXVII. S. 184—197.

1883.

737. W. v. Bechterew. *Ueber den Verlauf der die Pupille verengenden Nervenfasern und über die Localisation eines Centrums für die Iris und Contraction der Augenmuskeln.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXI. S. 60.
738. A. Grünhagen. *Die Nerven der Ciliarfortsätze des Kaninchens.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXII. S. 369.
739. Mercanti. *Recherches sur le muscle ciliaire des reptiles.* Arch. Ital. de Biol. IV. S. 197.
740. P. J. Möbius. *Notiz über das Verhalten der Pupille bei alten Leuten.* Centralbl. f. Nervenheilkde. No. 15.
741. Moeli. *Bemerkungen zur Untersuchung der Pupillenreaction.* Berl. klin. Wochenschr. No. 6.
742. H. Munk. *Ueber das Tapetum der Säugethiere.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. S. 125.

1884.

743. A. Grünhagen u. R. Cohn. *Ueber den Ursprung der pupillen-dilatirenden Nerven.* Centralbl. f. Augenheilkde. S. 165.
744. S. Mayer u. F. Pribram. *Studien über die Pupille.* Prag. Zeitschr. f. Heilkde. V. S. 15.
745. Sheglinsky. *Die Bewegungen der Pupille.* Diss. Kasan.

1885.

746. J. Aitken. *The pupil of the Eyes during Emotion.* Nat. XXXI. 553.
747. L. Bellarminow. *Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung der Pupillenbewegung. Photochoreograph.* Pflüger's Arch. Bd. 37. S. 107—122.
748. A. Bertillon. *La couleur de l'iris.* Rev. scientif. XXXVI. S. 65.
749. F. Boé. *Quelques recherches sur la couche pigmentaire de l'iris et sur le soi-disant muscle dilatateur de la pupille.* Arch. d'ophth. V. S. 311.
750. Ferrier. *Dilatatornerves of the iris.* Proc. of the Roy. Soc. XXXV. S. 229.
751. J. Jegorow. *Wirkung der langen Ciliarnerven auf die Erweiterung der Pupille.* Gaz. lek. Warszawa. (2.) V. S. 409. Diss. Kasan.
752. Jessop. *Pupillary movements associated with extrinsic movements.* Ophth. rev. Lancet. II. S. 996.
753. P. Kaschanowski. *Einwirkung der Cervicalportion des Nervus sympathicus auf die Pupille.* Med. pribav. k. morsk. sborniku. St. Petersburg. Aug.-Sept. S. 119, 161.
754. N. Kovalewsky. *Influence du système nerveux sur la dilatation de la pupille.* Arch. slav. de Biol. I. S. 92, 575.
755. Schmeichler. *Klinische Pupillenstudien.* Wien. med. Wochenschr. S. 1179, 1209, 1246, 1275.
756. S. Wilks. *The pupil of the eyes during emotion.* Nat. XXXI. 458.
757. N. Zeglinski *Experimentelle Untersuchung über die Irisbewegung.* du Bois' Arch. Jahrg. 1885. 1—37.

1886.

758. W. v. Bechterew. *Rétrécissement réflexe de la pupille par la lumière.* Arch. slaw. de biol. I. S. 356.
759. J. Dogiel. *Neue Untersuchungen über den pupillenerweiternden Muskel der Säugethiere und Vögel.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXVII. S. 403.

760. A. Dostoewski. *Zur Frage über die Existenz eines pupillenerweiternden Musk beim Menschen und Säugethieren.* (Russisch.) Wratsch. S. 641.
761. Haab. *Neuer Pupillarreflex.* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. No. 6.
762. E. Heddaeus. *Die Pupillarreaktion auf Licht, ihre Prüfung, Messung und klinisc Bedeutung.* Wiesbaden. Bergmann. 1886. 79 S.
763. J. Jegorow. *Ueber den Einflufs der langen Ciliarnerven auf die Erweiterung d Pupille.* du Bois' Arch. f. Physiol. S. 149.
764. H. Lee. *On the tapetum lucidum.* Lancet. I. S. 203.
765. Netter. *Sur les mouvements de l'iris, dits volontaires.* Rev. méd. de l'est. Nanc XVIII. S. 55.
766. J. Pzybylski. *Nerves dilatateurs de la pupille chez le chat.* Arch. slaw. de bi S. 400.
767. — *Zur Frage über die pupillenerweiternden Nerven bei der Katze.* Diss. Warscha
768. K. Schipiloff. *Ueber den Einflufs der Nerven auf die Erweiterung der Pupil* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXVIII. S. 219.

1887.

769. Dogiel. *Neue Untersuchungen über den pupillenerweiternden Muskel bei Säug thieren und Vögeln.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXVI. S. 4.
770. M. Gumo. *Pupillary contraction in lateral movements.* Ophthalm. Rev. S. 85.
771. J. Jegorow. *Ueber den Einflufs des Sympathicus auf die Vogelpupille.* Pflüge Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 41. S. 326—349.
772. Iwanow. *Zur Frage von der Ungleichheit der Pupillen bei gesunden Leut* Wratsch. No. 7. — Centr.-Bl. f. klin. Med. S. 614.
773. H. Lee. *On the tapetum lucidum and the functions of the fourth pair of nerv* London. J. u. A. Churchill. 1887. 15 S.
774. N. Mislawski. *De l'influence de l'écorce grise sur la dilatation de la pupille.* Sc de Biol. No. 13.
775. Salgo. *Die unregelmäfsige Reaction der Pupillen.* Wien. med. Wochensc No. 45 u. 46.
776. Steinach. *Vergleichend-physiologische Studien über Pupillarreaction.* Central f. Physiol. S. 105.
777. G. Zwjaginzew. *Ueber normale relative Weite der Pupillen bei gesunden Leut* (Russisch.) Russkaja Medizina No. 28.

1888.

778. Abadie. *Les mouvements de la pupille.* Réc. d'Ophthalm. S. 307.
779. A. Chauveau. *Sur le mécanisme des mouvements de l'iris.* Journ. de l'anat. et physi XXIV. S. 193.
780. Heddaeus. *Ueber Pupillarreaction.* Ber. d. 7. internat. Ophthalm.-Congr. Heidelberg. S. 456.
781. — *Reflexempfindlichkeit, Reflextaubheit und reflectorische Pupillenstarre.* Berl. kl Wochenschr. No. 17.
782. — *Eine Bemerkung zur Pupillarreaction.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 41
783. G. Iorisenne. *Remarque sur les mouvements de l'iris et sur la dynamogénie sen rielle.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. No. 19.
784. H. Lee. *On the use of the tapetum lucidum.* Med. Press and Circ. London. (n. XLVI. S. 489.
785. Picqué. *Des mouvements de la pupille.* Arch. d'Ophthalm. VIII. S. 249.

1889.

786. Picqué. *Étude expérimentale sur les mouvements de la pupille.* Arch. d'Ophthal IX. S. 469.
787. A. Raggi. *Osservazioni di un caso escezionale non ancora descritto di movimer sinergico irideo.* Rend. Lomb. (2.) XXII. S. 798.

1890.

788. R. v. Garnier. *Ueber Veränderungen des Musculus ciliaris unter dem Einflu des Wachsthums und der Refraction.* Wjestnik Oftalm. März-April. — Petersb. m Wochenschr.

1891.

789. R. Hilbert. *Pupillenbeobachtungen mittelst der subjectiven Methode.* Betz' Memo bilien. 1891. Heft 5.

1892.

790. A. Grünhagen. *Ueber die Mechanik der Irisbewegung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 53. S. 348—360.

791. J. N. Langley u. H. K. Anderson. *Dilatation of the pupil.* Proc. of the Physiol. Soc. Mai. 1892.

792. — *On the mechanism of the movements of the iris.* Journ. of Physiol. XIII. S. 513—553.

793. Ph. Limboubg. *Kritische und experimentelle Untersuchungen über die Irisbewegungen und über den Einflufs von Giften auf dieselben, besonders des Cocain.* Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmakol. Bd. XXX. S. 93—125.

794. L. Littauer. *Du mouvement de l'iris.* Thèse de Paris. 1892.

795. E. Steinach. *I. Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie der Iris. — II. Mittheilung über die directe motorische Wirkung des Lichtes auf den Sphincter pupillae bei Amphibien und Fischen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 52. S. 495—525.

1893.

796. P. Bajardi. *Contribution à l'histologie comparée de l'iris.* Arch. Ital. de Biol. XIX. S. 210—213.

797. E. P. Braunstein. *Beitrag zum Studium der Innervation der Pupillenbewegungen.* (Russisch.) Charkow.

798. G. Durand. *Disposition et développement des muscles dans l'iris des oiseaux.* Journ. de l'Anat. et de la Physiol. XXIX. S. 604—636.

799. G. Retzius. *Zur Kenntnifs vom Bau der Iris.* Biol. Unters. (N. F.) V. No. 7.

800. F. Spalitta u. M. Consiglio. *Ricerche sopra nervi constrittori della pupilla.* Arch. d'Ottalm. I. S. 19.

801. — *Recherches sur les nerfs constricteurs de la pupille.* Arch. Ital. de Biol. XX. S. 26—31.

802. Ziem. *Das Tapetum lucidum bei Durchleuchtung des Auges.* Zeitschr. f. Psychol. VI. S. 101—103.

1894.

803. E. P. Braunstein. *Zur Lehre von der Innervation der Pupillenbewegung.* Wiesbaden. J. F. Bergmann. 1894. 142 S.

804. J. Dogiel. *Die Betheiligung der Nerven an den Schwankungen in der Pupillenweite.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 56. S. 500—521.

805. Heddaeus. *Die centripetalen Pupillenfasern und ihre Function.* Festschr. z. Feier d. 50jähr. Jubil. d. Ver. d. Aerzte d. Reg.-Bez. Düsseldorf. S. 312—326.

2. Messung der Pupillenweite.

1852.

806. S. Stampfer. *Methode, den Durchmesser der Pupille sowohl bei Tage als bei Nacht am eigenen Auge zu messen.*

1855.

807. Dubrunfaut. *Note sur la vision.* Compt. Rend. Bd. 41. S. 1087.

1864.

808. F. Obernier. *Ueber ein einfaches Instrument, Pupillenunterschiede zu ermitteln.* Berlin.

1866.

809. Houdin. *Iridoskope.* Intern. Obs. IX. S. 315. — Mondes. X. S. 587—589. — Compt. Rend. LXIII. S. 865—868.

1869.

810. F. C. Donders. *Periodiske veranderingen van de middellijn der pupillen, zonder wijzigingen van refractie of accommodatie.* Versl. Ned. Gasth. v. Oogl. No. 10. S. 187.

1875.

811. E. Landolt. *Ein Pupillometer.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XIII. S. 563—564. — Gaz. méd. de Paris. S. 600.

1876.

812. Badal. *Mesure du diamètre de la pupille.* Gaz. méd. de Paris. No. 23. — Gaz. des hôpitaux. No. 57.

1877.

813. Badal. *Mesure du diamètre de la pupille et des cercles de diffusion.* Bull. mer de la clinique du Br. Badal. Paris. Delahaye. S. 28—31.

1878.

814. Badal. *Pupillomètre.* Arch. d'Ophthalm. Tome. 80. S. 42.

1879.

815. C. W. Evans. *Measurement of the Pupil.* Brit. med. Journ. S. 662.

1884.

816. Gorham. *The Pupil-Photometer.* Proc. of the Roy. Soc. London. Bd. 37. S. 42

1885.

817. L. Bellarminow. *Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung der Pupille bewegung. Photochoreograph.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXVII. S. 1 bis 122. — Roussk. med. No. 11—13.

1886.

818. L. Bellarminow. *Versuch einer Anwendung der graphischen Methode zur Unt suchung der Pupillenbewegung und des intraocularen Druckes.* Dissert. 120 Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol.

819. Cuignet. *Kératoscopie, Rétinoscopie, Pupilloscopie, Dioptroscopie et Réfractic* Rec. d'Ophthalm. S. 705. — Mém. de la soc. franç. d'Ophthalm. IV. S. 295.

820. W. H. Jessop. *Pupillometer.* Ophth. Rev. S. 113 u. 320.

1887.

821. Jackson. *Determination of the size of the pupil.* Med. a. Surg. Rep. LVI. Phi delphia. S. 516.

822. — *Determination of the size of the pupil.* Proc. Philad. med. Soc. VIII. S. 1(

1888.

823. D. Axenfeld. *Percezione subbiettiva dei movimenti dell' iride.* Bull. d. R. Accad. m di Roma. 1887/88. IX. S. 122.

824. Cl. du Bois-Reymond. *Ueber das Photographiren der Augen bei Magnesiumbl* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Jahrg. 1888. S. 68.

1891.

825. R. Hilbert. *Pupillenbeobachtungen mittelst der subjectiven Methode.* Betz Men rabilien. Heft 5.

1892.

826. M. Sachs. *Ueber den Einfluſs farbiger Lichter auf die Weite der Pupille.* Pflüge Arch. Bd. 52. S. 79—86.

1893.

827. C. Hess. *Demonstration eines Instrumentes zur Messung von Pupillendurchmes und Pupillendistanz.* Bericht d. 23. Vers. d. Ophthalm. Ges. S. 235.

828. M. Sachs. *Eine Methode der objectiven Prüfung des Farbensinnes.* Arch. Ophthalm. XXXIX. 3. S. 108—125.

829. Schlösser. *Demonstration eines Pupillometers.* Bericht d. 23. Versamml. d. Ophthal Ges. S. 234.

1894.

830. O. Schirmer. *Untersuchungen zur Physiologie der Pupillenweite.* Graefe's Arch. Ophthalm. XL. S. 8—21.

3. Vordere Augenkammer.

1868.

831. G. Calderini. *Del contatto dell' iride colla lente cristallina nell' occhio umano.* Tori

1871.

832. F. C. Donders. *Sur la distance entre la surface antérieure de la cornée et celle cristallin dans l'œil de l'homme vivant.* Acad. d'Amsterd. 30. Sept. 1871.

1878.

833. Horstmann. *Ueber die Tiefe der vorderen Augenkammer.* Onderzoek. 1878. — Cent f. Augenheilkde. 1878. S. XLV. — Zehender's klin. Monatsbl. 3. Beilageheft. S. 1

1879.

834. Horstmann. *Ueber die Tiefe der vorderen Augenkammer.* Graefe's Arch. f. Ophtha XXV. 1. S. 79—98.

1880.

835. J. E. ADAMS. *Neuer Apparat zur Beleuchtung und Vergröfserung der vorderen Augenpartieen.* Illustr. Vierteljahrsschr. d. ärztl. Polytechnik. 3. Heft.

1892.

836. A. ROCHON-DUVIGNEAU. *Recherches sur l'angle de la chambre antérieure et le canal de Schlemm.* Thèse de Paris. 1892.

---

§ 4.

Die Netzhaut und der Sehnerv.

Wegen weiterer Litteratur-Nachweise siehe § 1. 3.

1830.

837. F. A. AMMON. *De genesi et usu maculae luteae in retina oculi humani obviae.* Viennae.

1845.

838. F. PACINI. Nuovi Annali delle sc. nat. di Bologna.

1850.

839. CORTI. J. Müller's Arch. Jahrg. 1850. S. 274. — Zeitschr. f. wiss. Zool. V.
840. J. HENLE. Zeitschr. f. rat. Med. N. F. II. 304 u. 309.

1851.

841. H. MÜLLER. Siebold u. Kölliker's Zeitschr. f. wiss. Zool. S. 234. — Verh. der Würzburger med. Ges. 1852. S. 216. Ibid. III. 336 u. IV. 96.

1852.

842. A. KÖLLIKER. Verh. der Würzburger med. Ges. III. S. 316.

1853.

843. A. KÖLLIKER u. H. MÜLLER. Compt Rend. de l'Acad. des sc. Sept. 23.
844. — Die Retinatafel in Ecker's Icones physiologicae.
845. R. REMAK. Compt. Rend. de l'Acad. des sc. 1853. Oct. 31. — Allg. med. Centralz. 1854 No. 1. — Prag. Vierteljahrsschr. XLIII. S. 103.
846. M. v. VINTSCHGAU. Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. XI. S. 943.

1854.

847. A. KÖLLIKER. *Mikroskopische Anatomie.* Leipzig. 1854. II. S. 648—703.

1855.

848. R. BLESSIG. *De retinae textura.* Diss. Dorpat.

1856.

849. H. MÜLLER. *Anatomische Beiträge zur Ophthalmologie.* Arch. f. Ophthalm. II. (2.) S. 1. III. (1.) S. 1. — IV. (1.) S. 269.
850. — *Anatomisch-physiologische Untersuchungen über die Retina bei Menschen und Wirbelthieren.* Siebold u. Kölliker's Zeitschr. für wiss. Zool. VIII. 1. — Compt. Rend. XLIII. Oct. 20.

1857.

851. C. BERGMANN. *Anatomisches und Physiologisches über die Netzhaut des Auges.* Zeitschr. f. rat. Med. (3.) II. 83.

1858.

852. NUNNELEY. *On the structure of the retina.* The quarterly Journ. of microsc. science 1858. Juli. S. 217.

1859.

853. RITTER. *Ueber den Bau der Stäbchen und äufseren Endigungen der Radialfasern an der Netzhaut des Frosches.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 101.
854. M. SCHULTZE. *De retinae structura penitiori.* Bonn.
855. E. v. WAHL. *De retinae textura in monstro anencephalo.* Diss. Dorpat.

1860.

856. W. Manz. *Ueber den Bau der Retina des Frosches.* Zeitschr. f. rat. Med. (3.)] S. 301.
857. G. Braun. *Eine Notiz zur Anatomie und Bedeutung der Stäbchenschichte der Net haut.* Wien. Sitzgs.-Ber. XLII. S. 15—18.
858. W. Krause. *Ueber den Bau der Retinastäbchen beim Menschen.* Göttinger Nach 1861. No. 2. — Zeitschr. f. rat. Med. (3.) XI. S. 175.

1861.

859. M. Schultze. Sitzgs.-Ber. der niederrh. Ges. S. 97. — Arch. f. Anat. u. Physic S. 785.
860. Ritter. Arch. f. Ophthalm. VIII. S. 1.

1862.

861. H. Müller. *Bemerkungen über die Zapfen am gelben Fleck des Menschen.* Wür burger naturwiss. Zeitschr. II. S. 218.
862. — *Ueber das Auge des Chamäleon.* Würzburger naturwiss. Zeitschr. III. S. 10.

1863.

863. Schiess. *Beitrag zur Anatomie der Retinastäbchen.* Zeitschr. f. rat. Med. (: XVIII. S. 129.
864. H. Welcker. *Untersuchung der Retinazapfen bei einem Hingerichteten.* Zeitsch f. rat. Med. (3.) XX. S. 173.
865. W. Krause. Zeitschr. f. rat. Med. (3.) XX. S. 7.

1865.

866. M. Schultze. *Ueber den gelben Fleck der Retina, seinen Einflufs auf normal Sehen und auf Farbenblindheit.* Bonn. 1865. 16 S.

1866.

867. C. Hasse. *Vorläufige Mittheilung über den Bau der Retina.* Göttinger Nach No. 8.
868. J. Henle. *Handbuch der systematischen Anatomie des Menschen.* II. S. 636—670.
869. M. Schultze. *Zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Arch. f. mikrosk. Ana II. S. 175—286.
870. W. Steinlin. *Beitrag zur Anatomie der Retina.* Aus d. Verh. d. St. Gallische naturw. Ges. 1865 u. 1866.

1867.

871. C. Hasse. *Beiträge zur Anatomie der menschlichen Retina.* Zeitschr. f. rat. Me XXIX. S. 238.
872. J. W. Hulke. *On the anatomy of the fovea centralis of the human retina.* Philo transact. Vol. 157. Theil 1. S. 109.
873. M. Schultze. *Bemerkungen über Bau und Entwickelung der Retina.* Arch. mikrosk. Anat. III. S. 371—382.
874. W. Krause. *Zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Arch. f. mikros Anat. II. S. 165—286.
875. — *Ueber Stäbchen und Zapfen der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. III. S. 2] bis 247.

1868.

876. V. Hensen. *Bemerkungen zu W. Krause: Die Membrana fenestrata der Retin* Arch. f. mikrosk. Anat. (3.) S. 347.
877. W. Krause. *Ueber die Endigung des Nervus opticus.* Arch. f. Anat. S. 24 und S. 643.
878. M. Schultze. *Bemerkungen zu dem Aufsatz des Dr. W. Steinlin: Ueber Stäbch und Zapfen der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. IV. (2.) S. 22.
879. W. Steinlin. *Ueber Zapfen und Stäbchen der Retina.* Arch. f. mikrosk. Ana IV. (1.) S. 10.
880. G. Wagener. *Ueber die Structur der Retina.* Marb. Sitzgs.-Ber. No. 5.

1869.

881. M. Schultze. *Ueber die Nervenendigung in der Netzhaut des Auges bei Mensch und Thieren.* Arch. f. mikrosk. Anat. V. (4.) S. 379—403. — Sitzgs.-Ber. niederrh. Ges. f. Naturkde. u. Heilkde. Bonn. 3. Mai.
882. — *Die Stäbchen in der Retina der Cephalopoden und Heteropoden.* Arch. mikrosk. Anat. V. (1.) S. 1—24.

1870.

883. E. Landolt. *Beitrag zur Anatomie der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. VII. S. 81.
884. F. Merkel. *Zur Kenntnifs der Stäbchenschichte der Retina.* Arch. f. Anat. S. 642.
885. — *Ueber die Macula lutea des Menschen und die Ora serrata einiger Wirbelthiere.* Leipzig.
886. H. Meyer. *Eine historische Notiz über eine Varietät des Nervus opticus.* Arch. f. Anat. S. 523.

1871.

887. W. Dobrowolsky. *Zur Anatomie der Retina.* Arch. f. Anat. v. Reichert u. du Bois-Reymond. S. 221—236.
888. — *Die Doppelzapfen.* Arch. f. Anat. v. Reichert u. du Bois-Reymond. S. 208 bis 220.
889. G. Retzius. *Om membrana limitans retina interna.* Nord. med. arch. III. Heft 1. No. 2.
890. M. Schultze. *Neue Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Retina des Menschen.* Arch. f. mikrosk. Anat. VII. S. 244.
891. — *Die Retina.* Stricker's Handb. S. 977.

1872.

892. M. Duval. *Structure et usages de la rétine.* Thèse p. l. conc. d'agrégat. Paris. 150 S. Auszug im Journ. de l'Anat. u. Physiol. 1873. 3. S. 308—316.
893. Isaacsohn. *Beitrag zur Anatomie der Retina.* Diss. Berlin.

1874.

894. J. C. Ewart. *On the minute structure of the retina and vitreous humor.* Journ. of anat. and physiol. XIV. S. 353—357.
895. Gudden. *Ueber die Kreuzung von Fasern im Chiasma nervorum opticorum.* Arch. f. Ophthalm. XX. 2. 248 S.
896. H. Schmidt. *Die Farbe der Macula lutea im Auge des Menschen.* Med. Centralbl. No. 57. S. 900—902. — Sitzgs.-Ber. d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturwiss. z. Marburg. No. 7.

1875.

897. J. C. Ewart. *On the minute structure of the Retina and Vitreous humor.* Journ. of Anat. and Physiol. (2.) XV. 166.
898. J. Michel. *Ueber die Ausstrahlungsweise der Opticusfasern in der menschlichen Retina.* Beitr. z. Anat. u. Physiol. als Festgabe an Carl Ludwig. Leipzig. 1875. S. 56.
899. W. Nicati. *Recherches sur le mode de distribution des fibres nerveuses dans le nerf optique et dans la rétine.* Arch. de physiol. Ser. II. T. II. No. 5. S. 521—530.
900. H. Schmidt. *Weitere Mittheilung über die Farbe der Macula lutea im Auge des Menschen.* Sitzgs.-Ber. d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturw. z. Marburg. 24. März 1875.
901. H. Schmidt-Rimpler. *Die Macula lutea, anatomisch und ophthalmoskopisch.* Arch. f. Ophthalm. XXI. (3.) S. 17—28.

1876.

902. J. C. Ewart und G. Thin. *On the structure of the retina.* Journ. of Anat. a. Physiol. XI. S. 96—108.
903. W. Krause. *Die Nervenendigung in der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. XII. S. 742—790.
904. F. Merkel. *Ueber die menschliche Retina.* Arch. f. Ophthalm. Bd. 22. (4.) S. 1—25.
905. Woinow. *Ueber die Kreuzung der Sehnerven.* Kl. Monatsbl. f. Augenheilkde. XII. S. 424.

1877.

906. F. Merkel. *Die menschliche Retina.* Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 205—226.

1878.

907. A. Angelucci. *Ricerche istologiche del epithelio retinico dei vertebrati.* Atti dei Lincei. Ser. III. Memorie fisiche. Vol. II. S. 1031.
908. — *Histologische Untersuchungen über das retinale Pigmentepithel der Wirbelthiere.* du Bois-Reymond's Arch. f. Physiol. 1878. S. 353.
909. Kühne. *Die farbigen Kugeln der Zapfen in der Vogel-Retina.* Centralbl. f. med. Wiss. 1878. No. 1 u. 2.

910. L. Löwe. *Zur Anatomie des Auges. Zur mikroskopischen Histogenese der Retir* Arch. f. mikrosk. Anat. XV. 4.

1879.

911. G. Denissenko. *Einige Worte über den Bau der Molecularschicht der Netzhaut.* Me Uebersicht. Juni 1879.
912. — *Ueber die innere Körnerschicht der Retina.* Med. Uebersicht. August 1879.

1880.

913. G. V. Ciaccio. *Notizia sulla forma della fovea centrale ch' è nella macchia lu della retina umana.* Rend. d. acad. d. sc. d. istit. di Bologna. 24. Mai.
914. G. Denissenko. *Vorläufige Bemerkungen zur Lehre über den Bau der Netzha* Schenk's Mittheil. a. d. embryol. Inst. d. Univ. in Wien. S. 61—63.
915. — *Untersuchungen über den Bau der inneren Körnerschicht und der Molekul schicht der Netzhaut.* Schenk's Mittheil. a. d. embryol. Inst. d. Univ. in Wi S. 11—24.
916. — *Einige Bemerkungen über den Bau der Netzhaut.* Centralbl. f. d. med. Wi No. 52.
917. — *Einige Beobachtungen über die Gefäfse in der Fovea centralis der Netzhaut Menschen.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 47.
918. W. Krause. *Ueber die Fasern des Sehnerven.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (2.)
919. Salzer. *Ueber die Anzahl der Sehnervenfasern und der Retinalzapfen im Auge Menschen.* Wien. Ber. Bd. 81. (3.)

1881.

920. O. Becker. *Die Gefäfse der menschlichen Macula lutea.* Arch. f. Ophthal XXVII. (1.) S. 1.
921. Cl. du Bois-Reymond. *Zahl der Empfindungskreise in der Netzhautgrube.* Berl Diss. 31 S.
922. G. Colasanti. *Alcune esperimenze sull epitelio retinico dei Laboroidi.* Bull. d. Acc. med. di Roma. VII. S. 298.
923. W. Krause. *Ueber die Retinazapfen der nächtlichen Thiere.* Arch. f. mikrosk. An S. 309—314.
924. Kuhnt. *Ueber den Bau der Fovea centralis des Menschen.* Ber. üb. d. 13. Ve d. Ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 141—146.
925. J. Michel. *Ueber die Nervenfaserschicht der Netzhaut.* Verh. d. physik.-m Ges. zu Würzburg. (N. F.) XV. 3/4.
926. G. Retzius. *Beiträge zur Kenntnifs der inneren Schichten der Netzhaut des Aug* Biol. Unters. S. 89—104.
927. O. F. Wadsworth. *The Fovea centralis in Man.* Beitr. z. Ophthalm. als Fes Prof. Horner gewidmet. Wiesbaden. Bergmann.
928. G. Waelchli. *Mikrospectroscopische Untersuchungen der gefärbten Kugeln in Retina von Vögeln.* Arch. f. Ophthalm. Bd. 27. (2.) S. 303—319.

1882.

929. E. Berger. *Zur Kenntnifs vom feineren Baue des menschlichen Sehnerven.* Ar f. Augenheilkde. XI. S. 314.
930. L. Bruns. *Vergleichend anatomische Studien über das Blutgefäfs-System der N haut.* Diss. München. — Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. Heft 2. S. 77—101.
931. J. Chatin. *Sur l'existence des cônes dans la rétine de la souris.* Bull. S philomat. de Paris. (7.) VI. S. 128.
932. G. Colasanti. *Studj sulla retina delle scorpene.* Bull. d. r. Acc. med. di Ro S. 344.
933. G. Denissenko. *Ueber den Bau der Netzhaut bei der Quappe (Lota vulgaris) bei Ophidium barbatum.* Arch. f. Ophthalm. XXVIII. (1.) S. 125—138.
934. — *Ueber den Bau der Netzhaut des Aales.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXI. S. 1—
935. L. Desfosses *Anatomie de la rétine.* Arch. f. Ophthalm. S. 97.
936. S. Gauser. *Zur Anatomie der Katzenretina.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilk Heft 2. S. 139—140.
937. Gudden. *Ueber die verschiedenen Nervenfasersysteme in der Retina und im Ner opticus.* Tagebl. d. 55. Vers. d. Naturf. u. Aerzte. Eisenach. No. 7. S. 307.
938. K. Mays. *Ueber das braune Pigment des Auges.* Heidelb. Unters. II. S. 324—3
939. H. Virchow. *Ueber die Glaskörper- und Netzhautgefäfse des Aales.* Morpl Jahrb. VII. S. 573—590.

1883.

940. W. v. Bechterew. *Experimentaluntersuchung über die Kreuzung der Sehnervenfasern im Chiasma nervorum opticorum.* Klinitscheskaja Gazeta. No. 2, 3. — Neurol. Centralbl. S. 53.
941. Bellonci. *Contribuzione all' istiogensi ed istiologia dello strato molecolare interno della retina.* Mem. d. Acad. de sc. di Bol. (4.) III. 4.
942. M. Borysiekiewicz. *Stäbchenorgan der Retina.* Anz. d. k. k. Ges. d. Aerzte in Wien. No. 23.
943. F. Burdach. *Zur Faserkreuzung im Chiasma und in dem Tractus nervorum opticorum.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. (3.) S. 135.
944. A. Dogiel. *Die Retina der Ganoiden.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXII. S. 419—472.
945. E. v. Fleischl. *Die Verteilung der Sehnervenfasern über die Zapfen der menschlichen Netzhaut.* Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. Bd. 87. 3. Abth. (Sitzung v. 10. Mai.)
946. — *Zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Biol. Centralbl. III. S. 309 u. 331.
947. J. Ogneff. *Ueber die moleculäre Schicht und die sog. reticuläre Substanz der Retina.* Centralbl. f. d. med. Wissensch. No. 45. S. 801—804.
948. G. Szabó. *Untersuchung über das Pigmentepithel der Netzhaut bei Säugethieren.* Szemészet. No. 5 u. 6.
949. — *Ueber die Farbe des Netzhautepithels bei Vertebraten.* Szemészet. Budapest. 1883. S. 113. 1884. S. 9.
950. A. Tafani. *Andamento e terminazione del nervo ottico nella retina dei crocodilli (Champsa Lucius).* Boll. d'ocul. Firenze. V. S. 318. 333. (1882/83). — VI. S. 14. (1883/84).
951. G. Waelchli. *Zur Topographie der gefärbten Kugeln der Vogelnetzhaut.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. (3.) S. 205.

1884.

952. L. Bruns. *Vergleichend-anatomische Untersuchungen über das Blutgefässsystem der Netzhaut.* Biol. Centralbl. IV. S. 244.
953. A. Dogiel. *Zur Frage über den Bau der Retina bei Triton cristatus.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXIV. S. 451—467.
954. — *Ueber die Retina des Menschen.* Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Histiol. S. 143 u. S. 161.
955. E. v. Fleischl. *Zur Physiologie der Retina.* Wien. med. Wochenschr. No. 10 u. 11. S. 273 u. 308.
956. A. Kölliker. *Ueber markhaltige Nervenfasern der Netzhaut.* Diss.
957. Koganëi. *Histiogenese der Netzhaut.* Verh. d. physiol. Ges. zu Berlin. No. 4 u. 5. — Arch. f. mikrosk. Anat. XXIII. S. 335. Arch. f. Physiol. S. 172.
958. W. Krause. *Die Retina.* Intern. Mon.-Schr. für Anat. u. Histol. I. S. 225—254.
959. Rampoldi. *Materiali da servire allo studio istologico della retina dei mammiferi.* Ann. di Ottalm. S. 439.
960. G. Sacchi. *Nuovi indagini relative alla tissitura della nevroglia nella retina dei vertebrati.* Sperimentale. Firenze. LIII. S. 620.
961. P. Schiefferdecker. *Beiträge zur Kenntnifs des Stützfasergewebes der Netzhaut.* Göttinger Anz. No. 7.
962. Tafani. *Parcours et terminaisons du nerf optique dans la rétine des crocodiles. (Champsa Lucius.)* Arch. Ital. de Biol. IV. S. 110.

1885.

963. St. Bernheimer. *Zur Kenntnifs der Nervenfaserschicht der menschlichen Netzhaut.* Sitzgs.-Ber. d. k. k. Acad. d. Wiss. zu Wien. Bd. 90. S. 1—2.

1886.

964. J. W. Barret. *The distribution of blood-vessels in the retina of mammals.* Journ. of Physiol. VII. S. 230.
965. G. Cuccati. *Contributo all' anatomia microscopica della retina del bue e del cavallo.* Rend. d. R. Accad. di Bologna. 1885—86. S. 44.
966. G. Denissenko. *Ueber den Bau der Retina bei Trigonum pastinaca.* (Russisch.) Westn. Ophthalm. III. 3. S. 193.
967. W. Krause. *Die Retina II. Die Retina der Fische.* Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Histiol. III. 1. S. 8—38. 2. S. 41—73.
968. P. Schiefferdecker. *Studien zur vergleichenden Histiologie der Retina.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXVIII. S. 305—396.

1887.

969. M. Borysiekiewicz. *Untersuchungen über den feineren Bau der Retina.* Wien Töplitz u. Deutike. 70 S.
970. F. Falchi. *Sull' istogenesi della retina e del nervo ottico.* Ann. di ottalm. XV. 5/(
971. F. Tartuferi. *Sull' anatomia della retina.* Arch. per le sc. med. XI. S. 335—358. — Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. IV. S. 421.
972. — *Sur la structure intime de la rétine.* Arch. Ital. de Biol. IX. 1. S. 10—11.

1888.

973. A. Dogiel. *Ueber das Verhalten der nervösen Elemente in der Retina der Ganoiden Reptilien, Vögel und Säugethiere.* Anat. Anz. 4/5. S. 133—143.
974. — *Ueber die nervösen Elemente in der Retina der Amphibien und Vögel.* Ana Anz. S. 342—347.
975. W. Krause. *Die Retina der Fische.* Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Histol. V S. 132—148.
976. Ph. Stöhr. *Neues über die Netzhaut.* Sitzgs.-Ber. d. physik.-med. Ges. No. 8 S. 124—128 u. No. 9. S. 129—132.

1889.

977. S. Ramon y Cajal. *Sur la morphologie et les connections des éléments de l rétine des oiseaux.* Anat. Anz. IV. 4. S. 111—121.
978. J. H. Chievitz. *Untersuchungen über die Area centralis retinae.* Arch. f. Anat. u Physiol. S. 139.
979. R. Dubois u. J. Renaut. *Sur la continuité de l'épithélium pigmenté de la rétin avec les segments externes des cônes et des bâtonnets et la valeur morphologique d cette disposition chez les vertébrés.* Compt. Rend. Bd. 109. S. 747—749.
980. W. Krause. *Die Retina der Fische.* Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Histol. V S. 206—223, 250—269.
981. — *Historische Notiz* (*Ueber die Zapfen des Maulwurfs*). Arch. f. Ophthaln XXXV. (3.) S. 279.
982. Kuhnt. *Histologische Studien an der menschlichen Netzhaut.* Jenaische Zeitschr. Wiss. XXIV. S. 177.
983. B. Solger. *Demonstration von Schnitten durch die menschliche Retina* (*Gegend de Macula lutea*). Verh. d. anat. Ges. a. d. 3. Vers. in Berlin. 10—12. Oct. 188 S. 138—139.

1890.

984. G. Biagi. *La fovea centrale della retina nei lofobranchi.* R. Ist. Lomb. (2 XXIII. 662.

1891.

985. M. Sachs. *Ueber die specifische Lichtabsorption des gelben Fleckes der Netzhau* Pflüger's Arch. Bd. 50. S. 574—587.

1892.

986. A. S. Dogiel. *Ueber die nervösen Elemente in der Retina des Menschen.* (Zweit Mitth.) Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 40. S. 29—38.

1893.

987. S. Ramón y Cajal. *La rétine des vertébrés.* La Cellule. IX. 1. S. 119.
988. Dogiel. *Neuroglia der Retina des Menschen.* Arch. f. mikrosk. Anat. S. 41.

1894.

989. M. Borysiekiewicz. *Weitere Untersuchungen über den feineren Bau der Netzhau* Leipzig u. Wien. F. Deuticke. 64 S.
990. — *Erwiderung auf Dimmer's Angriff gegen meine Arbeiten: „Ueber den feinere Bau der Netzhaut.“* Wien. med. Bl. S. 303.
991. — *Antwort auf die Entgegnung des Herrn Docenten Dr. Dimmer in Wie* Wien. med. Bl. S. 351.
992. S. Ramón y Cajal (u. R. Greeff). *Die Retina der Wirbelthiere.* In Verbindun mit dem Verfasser zusammengestellt, übersetzt und mit Einleitung versehen vo R. Greeff. Wiesbaden. J. F. Bergmann. 179 S.
993. Fr. Dimmer. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Macula lutea des Mensche* Wien. F. Deuticke. 133 S.
994. — *Entgegnung an Herrn Prof. Borysiekiewicz.* Wien. med. Bl. S. 319.
995. R. Greeff. *Die Spinnenzellen* (*Neurogliazellen*) *im Sehnerv und in der Retin* Arch. f. Augenheilkde. XXIX. S. 324—339.

996. Ch. L. Green. *Ueber die Bedeutung der Becherzellen der Conjunctiva.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (1.) S. 1—21.

997. E. Kallius. *Untersuchungen über die Netzhaut der Säugethiere.* Anat. Hefte. Heft 3. S. 527.

998. W. Krause. *Die Retina der Vögel.* Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. XI. S. 1—66, 69—123.

999. F. Leydig. *Einiges zum Bau der Netzhaut des Auges.* Zool. Jahrb. Abth. f. Anat. VII. 2. S. 309.

1000. W. Manz. *Ueber markhaltige Nervenfasern in der menschlichen Netzhaut.* Arch. f. Augenheilkde. XXIX. S. 220—233.

1001. W. F. Norris u. J. Wallace. *A contribution to the anatomy of the human retina, with a special consideration of the terminal loops of the rods and cones.* University med. mag. March. (Philadelphia.)

---

§ 5.

Die Krystallinse.

Wegen weiterer speciell anatomischer Litteratur siehe auch § 1. 3.
Litteratur über die Art der Schichtung in der Krystallinse siehe § 10. 1 und 2.

1845.

1002. A. Hannover. Müller's Archiv. 1845. S. 478*.

1846.

1003. Harting. van de Hoeven en de Vriese Tijdschrift. XII. S. 1.

1847.

1004. E. Brücke. *Beschreibung des menschlichen Augapfels.* Berlin. S. 27—30*.

1849.

1005. W. Bowman. *Lectures on the parts concerned in the oper. on the eye.* London.

1851.

1006. H. Meyer. J. Müller's Archiv. 1851. 202*.

1852.

1007. Gros in Compt. Rend. de l'Acad. d. Sciences. 1852. Avril.

1008. D. Brewster. *On the development and extinction of regular doubly refracting structures in the cristalline lenses of animals after death.* Phil. Mag. (4.) III. S. 192—198.

1854.

1009. A. Kölliker. *Mikroskopische Anatomie.* Leipzig. II. 703—713*.

1010. Thomas in Prager med. Vierteljahrsschr. 1854. Bd. 1. Aufserord. Beil. S. 1*.

1855.

1011. J. Czermak. *Ueber das Wesen der von Dr. C. Thomas auf Linsenschliffen entdeckten Curvensysteme.* Zeitschr. f. wiss. Zool. VII. Heft 3.

1859.

1012. G. Valentin. *Neue Untersuchungen über die Polarisationserscheinungen der Krystalllinsen des Menschen und der Thiere.* Arch. f. Ophthalm. IV. (1.) S. 227—268.

1013. D. Brewster. *On certain abnormal structures in the crystalline lenses of animals and in the human crystalline.* Rep. of Brit. Ass. 1858. 2. S. 7.

1863.

1014. F. J. v. Becker. *Ueber den Bau der Linse bei dem Menschen und den Wirbelthieren.* Arch. f. Ophthalm. IX. (2.) S. 1—42.

1869.

1015. M. Woinow. *Ueber die Entstehung der bipolaren Anordnung der Linsenfasern.* Wien. Ber. LX. 2. S. 151—154.

1871.

1016. Babuchin. *Die Linse.* Stricker's Handb. S. 1080.
1017. Robinski. *Untersuchungen über die Augenlinse.* Reichert u. Du-Bois' Arch. S. 38

1872.

1018. J. Henle. *Zur Anatomie der Krystalllinse.* Göttingen.
1019. Robinski. *Zur Anatomie, Physiologie und Pathologie der Augenlinse des Mensche und der Wirbelthiere.* Reichert u. Du-Bois' Arch.. S. 178—205.

1873.

1020. S. Fubini. *Beiträge zum Studium der Krystalllinse.* Moleschott's Unters. z. Natur XI. S. 291—299.

1876.

1021. A. H. Jacob. *The physiological function and anatomy of the crystalline lens.* Me Presse and Circular. 19. u. 26. Juli.

1877.

1022. K. Ritter. *Zur Histologie der Linse. 4. Ueber die allgemeine Anordnung d Vogellinse nebst Bemerkungen über das Zustandekommen der Accomodationsbewegu in der Linse.* Arch. f. Ophthalm. XXIII. (2.) S. 44—61.
1023. K. Rumschewitz. *Ueber die Entwickelung der Linse und des Glaskörpers.* Sch d. Naturf. zu Kiew. V. 2.

1878.

1024. J. Henle. *Zur Anatomie der Krystalllinse.* Abhandl. d. Kgl. Ges. d. Wiss. Göttingen. Auch separat. Göttingen. Dietrich. S. 62.
1025. M. Knies. *Zur Chemie der Altersveränderung der Linse.* Heidelb. Unters. S. 114—119.
1026. K. Ritter. *Zur Histologie der Linse.* Arch. f. Ophthalm. XXIV. (2.) S. 1—36.

1882.

1027. O. Becker. *Ueber die Structur der Krystalllinse.* Ber. über d. XIV. Vers. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. 1882. Beil.-Heft zu d. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkd XX. S. 174.
1028. E. Berger. *Bemerkungen über die Linsenkapsel.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkd Januar.
1029. Robinski. *Sind die Augenlinsenröhren ein- oder mehrkörnig?* Centralbl. f. d. me Wissensch. S. 498.
1030. — *Structur der Augenlinsenröhren.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 28.
1031. — *Untersuchungen zur Kenntnifs der Länge und Anordnung der Augenlinsenfase* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 21.
1032. — *Untersuchungen über die sog. Augenfasern.* Arch. f. Augenheilkde. XI. S. 44

1883.

1033. O. Becker. *Ueber den Wirbel und den Kernbogen in der menschlichen Lin* Arch. f. Augenheilkde. XII. S. 127.
1034. — *Zur Anatomie der gesunden und kranken Linse.* Wiesbaden. Bergmann. 18 218 S.
1035. Heitzmann. *Ueber den feineren Bau der Linse und des Glaskörpers.* Ber. ophthalm. Ges. S. 33. Beil.-Heft z. d. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXI. S. bis 38.
1036. S. Robinski. *Zur Kenntnifs der Augenlinse und deren Untersuchungsmethod* Berlin. 1883. 60 S.

1884.

1037. O. Becker. *Zur Structur der Linse.* Ber. d. XVI. Versamml. d. ophthalm. G zu Heidelberg. S, 78.

1886.

1038. Gottschau. *Bau der Krystalllinse.* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. October.

1888.

1039. L. Matthiessen. *Ueber die Thomas'schen Bipolarkurven auf angeschliffenen Kryst linsen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLII.

1891.

1040. P. H. Fridenberg. *Ueber die Sternfigur der Krystalllinse.* Diss. Strafsburg. 22

§ 6.

Wässerige Feuchtigkeit und Glaskörper.

Wegen weiterer speciell anatomischer Litteratur siehe auf § 1. 3.

1842.

1041. Pappenheim. *Specielle Gewebelehre des Auges.* S. 181.

1843.

1042. E. Brücke. *Ueber den inneren Bau des Glaskörpers.* J. Müller's Arch. S. 345.

1845.

1043. A. Hannover. J. Müller's Arch. S. 467.

1044. E. Brücke. *Ueber den inneren Bau des Glaskörpers.* J. Müllers Arch. S. 130.

1846.

1045. F. C. Donders en Jansen. Nederlandsch Lancet. II. S. 454.

1847.

1046. E. Brücke. *Beschreibung des menschlichen Augapfels.* Berlin.

1848.

1047. W. Bowman. Dublin Quarterly Journ. of Med. Science. Aug.; auch in *Lectures on the Parts conc. in the oper. on the eye.* London. S. 94.

1851.

1048. R. Virchow. Verh. d. Würzburger phys. med. Ges. II. — Arch. f. pathol. Anat. IV. S. 468 u. V. S. 278.

1049. A. *Kölliker. *Mikrosk. Anatomie.* II. S. 713.

1852.

1050. A. Hannover. *Das Auge.* Leipzig.

1854.

1051. *A. Doncan. *De corporis vitrei structura.* Diss. Utrecht. 1854. — Onderzoekingen ged. in het physiol. Laborat. der Utrechtsche Hoogeschool. Jaar VI. S. 172.

1865.

1052. H. Heiberg. *Zur Anatomie und Physiologie der Zonula Zinnii.* Arch. f. Ophthalm. XI. (3.) S. 168.

1869.

1053. D. Smith. *Structure of the adult human vitreous humor.* Lancet. 8. Mai.

1054. J. Stilling. *Eine Studie über den Bau des Glaskörpers.* Arch. f. Ophthalm. XV. (3.) S. 299.

1874.

1055. J. C. Ewart. *On the minute structure of the retina and vitreous humor.* Journ. of anat. and physiol. XIV. S. 353—357.

1877.

1056. K. Rumschewitz. *Ueber die Entwicklung der Linse und des Glaskörpers.* Schr. d. Naturf. zu Kiew. V. 2.

1878.

1057. Albini. *Die Functionen des Corpus vitreum.* Ausz. a. Rendic. Real. Acc. sc. fis. e. mat. di Napoli. October.

1882.

1058. E. Berger. *Beiträge zur Anatomie der Zonula Zinnii.* Arch. f. Ophthalm. XXVIII. (2.) S. 111—124.

1059. P. Haensell. *Ueber den Bau des Glaskörpers.* Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. Beil.-Heft zu d. Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XX. S. 103—110.

1060. H. Virchow. *Ueber die Glaskörper- und Netzhautgefäfse des Aales.* Morphol. Jahrb. VII. S. 573—590.

1883.

1061. Dessauer. *Zur Zonulafrage.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXI. S. 89—99.

1062. Heitzmann. *Ueber den feineren Bau der Linse und des Glaskörpers.* Ber. d. ophthalm. Ges. S. 33. Beil.-H. z d. klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXI. S. 33—38.

1887.

1063. Kuhn. *Zur Chemie des Humor aqueus.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. ·
S. 200—202.

1888.

1064. P. Hänsell. *Recherches sur la structure et l'histogénese du corps vitré normal*
pathologique. Thèse de Paris. 40 S.

1891.

1065. R. v. Garnier. *Ueber den normalen und pathologischen Zustand der Zonula Zin*
Arch. f. Augenheilkde. XXIV. S. 32—41.

1066. W. Schoen. *Noch einmal: Die Concavität des vorderen Zonulablattes.* Arch.
Augenheilkde. XXII. S. 422—426.

1894.

1067. W. Pautz. *Beiträge zum Chemismus des Glaskörpers und des Humor aqu*
Zeitschr. f. Biol. XXXI. S. 212—243.

---

§ 7.

Umgebung des Auges.

1867.

1068. H. Cohn. *Messungen der Prominenz der Augen, mittelst eines neuen Instrumen*
des Exophthalmometers. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. V. S. 339.

1868.

1069. H. Cohn. *Présentation d'un instrument déstiné à déterminer avec précision le de*
de saillie du globe oculaire dans l'exophthalmus. Compt. Rend. du Cong
d'Ophthalm. S. 21.

1870.

1070. E. Emmert. *Ueber Exophthalmometer nebst Beschreibung eines eigenen.* Be
Mitth. No. 711—714. S. 208—222.

1071. P. Keyser. *Ueber das Messen der Prominenz des Auges.* Arch. f. Augen- u
Ohrenheilkde. I. S. 183—186.

1072. W. Zehender. *Noch ein Exophthalmometer.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilk
VIII. S. 42.

1872.

1073. A. Krukhoff. *Appareil pour définir la distance entre les centres des pupi*
Compt. Rend. de la soc. des méd. russ. à Moscou. No. 17.

1878.

1074. Fr. Holmgren. *Ueber den Augenabstand der Farbenblinden.* Graefe's Arch
Ophthalm.

1879.

1075. H. Cohn. *Ein Brief betreffend die Pupillendistanz Farbenblinder.* Upsala Läka
Förh. XIV. S. 537—538.

1076. E. Hering. *Ueber Muskelgeräusche des Auges.* Wien. Ber. LXXIX. S. 137.

1077. F. Holmgren. *Ueber den Pupillenabstand bei den Farbenblinden.* Upsala Läka
Förh. XIV. S. 73—91.

1881.

1078. E. Landolt. *Relations between the conformation of the cranium and that of*
eye. Brit. med. Journ. 2. April.

1079. H. Virchow. *Ueber die Gefäfse im Auge und in der Umgebung des Auges b*
Frosche. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 35. S. 247—281.

1883.

1080. Koschel. *Ueber Form, Lage und Gröfsenverhältnisse der Orbita, des Bulbus*
der Krystalllinse unserer Hausthiere. Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. II. S.

1081. Motais. *Contribution à l'étude de l'anatomie comparée des muscles de l'œil et de la capsule Ténon.* Paris.

1082. Stötting. *Vorschlag zu einigen Veränderungen an dem von Herrn Prof.* Zehender *angegebenen Exophthalmometer.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 355.

1884.

1083. Motais. *Recherches sur les muscles de l'œil chez l'homme et dans la série animale.* Bull. de la Soc. franç. d'ophthalm. S. 172.

1084. — *Recherches sur l'anatomie humaine et l'anatomie comparée de l'appareil moteur de l'œil.* Arch. d'Ophthalm. IV. S. 512.

1885.

1085. Motais. *Recherches sur l'anatomie humaine et l'anatomie comparée de l'appareil moteur de l'oeil.* Arch. d'Ophthalm. V. S. 28, 143, 419 u. 524.

1886.

1086. Motais. *Recherches sur l'anatomie humaine et l'anatomie comparée de l'appareil moteur de l'œil.* Arch. d'Ophthalm. VI. S. 157.

1887.

1087. Motais. *Anatomie de l'appareil moteur de l'œil de l'homme et des vertébrés.* Paris. Delahaye u. Lecosnier. 303 S.

1889.

1088. R. Drews. *Ueber das Mongolenauge.* Arch. f. Anthrop. XVIII. 3. S. 223—233.

1089. L. Weiss. *Ueber directe Messung des Neigungswinkels des Orbitaeinganges.* Arch. f. Augenheilkde. XXI. S. 1.

1090. — *Zur Anatomie der Orbita.* Ber. üb. d. XX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 73.

1891.

1091. E. Curtius. *Das menschliche Auge in der griechischen Plastik.* Sitzgs.-Ber. d. Berl. Akademie v. 9. Juli 1891.

1092. W. Waldeyer. *Bemerkungen zu der vorstehenden Mittheilung des Herrn* Curtius. Sitzgs.-Ber. d. Berl. Akademie v. 9. Juli 1891.

1892.

1093. R. Greeff. *Studien über die Plastik des menschlichen Auges am Lebenden und an den Bildwerken der Antike.* Arch. f. Anat. Jahrg. 1892. S. 113—136.

1094. Schmidt-Rimpler. *Das Auge und seine Darstellung in Sculptur und Malerei.* Nord und Süd. LXII. No. 186.

1894.

1095. A. Antonelli. *L'ophthalmomètre* Javal *employé pour l'exophthalmométrie et l'ophthalmostatométrie.* Arch. d'Ophthalm. XIV. S. 529—542.

1096. L. Weiss. *Ueber das Verhalten von M. rectus externus und rectus internus bei wachsender Divergenz der Orbita.* Arch. f. Augenheilkde. Bd. XXIX. S. 298.

1097. Wicherkiewicz. *Ein neuer Orbitalmesser.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXXII. S. 365—367.

---

§ 9.

Gesetze der Brechung in Systemen kugeliger Flächen.

1. Aeltere Litteratur.

1738.

1098. Cotes in Smith a complete system of optics. II. S. 76. Cambridge.

1757.

1099. L. Euler. *Règles générales pour la construction des télescopes et microscopes de quelque nombre de verres qu'ils soient composés.* Histoire de l'Acad. roy. de Berlin pour 1757. S. 283.

1761.

1100. L. Euler. Histoire de l'Acad. roy. de Berlin pour 1761. S. 201.

1765.

1101. L. Euler. *Précis d'une théorie générale de la dioptrique.* Hist. de l'acad. roy. d sc. de Paris. 1765. S. 555.

1778.

1102. Lagrange. Nouv. Mém. de l'acad. roy. de Berlin pour 1778. S. 162.

1780.

1103. Lagrange. *Sur la théorie des lunettes.* Nouv. Mém. de l'Acad. de Berlin. S. 16

1803.

1104. Lagrange. Nouv. Mém. de l'acad. roy. de Berlin pour 1803. S. 1.

1822.

1105. Piola. *Sulla theoria de'cannocchiali.* Effemeridi astron. di Milano per 1822.

1830.

1106. Möbius. *Kurze Darstellung der Haupteigenschaften eines Systems von Linsengläse* Crelle's Journ. f. Mathematik. Bd. V. S. 113.

1841.

1107. *Bessel. *Ueber die Grundformeln der Dioptrik.* Astronom. Nachr. Bd. XVI S. 97.

1108. *Gauss. *Dioptrische Untersuchungen.* Göttingen. — Abdruck aus Abh. d. K Ges. d. Wiss. zu Göttingen. Th. 1. von den Jahren 1838—43.

1844.

1109. Encke. *De formulis dioptricis.* Programm. Berlin.

1110. Moser. *Ueber das Auge.* Dove's Repert. d. Phys. Bd. V. S. 289.

1111. — *Methode die Brennweite und optischen Hauptpunkte von Linsen zu bestimm* Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 39.

1847.

1112. Minding. *Neue Ausdrücke für die Hauptgesetze der Dioptrik.* Pogg. Ann. Bd.

1851.

1113. Listing. *Dioptrik des Auges.* R. Wagner's Handwörterbuch d. Physiol. Bd.] S. 451.

1114. A. F. Möbius. *Entwickelung der Lehre von dioptrischen Bildern mit Hülfe der Collin tionsverwandtschaft.* Ber. d. Leipziger Ges. d. Wiss. S. 8.

2. Neuere Litteratur.

Hinsichtlich der neueren Litteratur mufs im allgemeinen auf die physikalischen Lehrbücher v wiesen werden. Hier folgt Einiges, was näheren Bezug auf die Dioptrik des Auges hat. — Wegen Brechung in nicht-kugeligen Flächen siehe § 14.

1856.

1115. W. Zehender. *Anleitung zum Studium der Dioptrik des menschlichen Au* Erlangen.

1863.

1116. F. C. Donders. *Bepaling van den brandpuntsafstand van lenzen.* Vers. Ned. G. v. O No. 4. S. 99.

1866.

1117. A. Wüllner. *Einleitung in die Dioptrik des Auges.* Leipzig.

1870.

1118. F. E. Reusch. *Constructionen zur Lehre von den Haupt- und Brennpunkten ei Linsensystems.* Teubner. Leipzig.

1871.

1119. Hock. *Untersuchungen über die Gröfse der Bilder bei Combination zweier optisc Systeme.* Arch. f. Ophthalm. XVII. 2. S. 131.

1120. V. Lang. *Zur Dioptrik eines Systems centrirter Kugelflächen.* Wien. Acad.

1875.

1121. J. Hirschberg. *Zur Dioptrik des Auges. I. Die Brechung homocentrischer paraxi Strahlenbündel in einem beliebigen centrirten System kugeliger Flächen.* Centra f. d. med. Wiss. S. 769.

1876.

1122. J. Hirschberg. *Dioptrik der Kugelflächen und des Auges.* Reichert's u. du Bois' Arch. S. 587.

1877.

1123. L. Matthiessen. *Grundrifs der Dioptrik geschichteter Linsensysteme.* Leipzig. 276 S.

1878.

1124. J. Hirschberg. *Elementare Darstellung der Gauss'schen Dioptrik kugeliger Flächen.* Beitr z. prakt. Augenheilkde. 3. Heft. S. 30—35.

1125. L. Matthiessen. *Ueber eine Methode der Berechnung der 6 Cardinalpunkte eines centrirten Systems sphärischer Linsen.* Schlömilch's Ztschr. f. Math. u. Phys. Bd. 22.

1880.

1126. E. Abbe. *Ueber die Grenzen der geometrischen Optik. Mit Vorbemerkungen über die Abhandlung: „Zur Theorie der Bilderzeugung" von Dr. R. Altmann.* Sitzgs.-Ber. d. Jenaischen Ges. f. Med. u. Naturw. 23. Juli. 48 S.

1127. R. Altmann. *Ueber die Vorbemerkungen des Herrn Prof. Abbe zu seinen „Grenzen der geometrischen Optik".* Arch. f. Anat. IV. S. 354—363.

1128. — *Zur Theorie der Bilderzeugung.* Arch. f. Anat. (u. Physiol.) IV. 2. S. 111—184.

1129. Hällstén. *Die dioptrische Fähigkeit in centrirten Systemen mit besonderer Rücksicht auf die dioptrische Fähigkeit und die Accommodationsbreite des Auges.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Phys. Abth. Heft 1 u. 2.

1881.

1130. K. Moser. *Die Grundformeln der Dioptrik.* Sitzgs.-Ber. d. k. böhm. Ges. d. Wiss. 1. April 1881. Prag.

1885.

1131. W. v. Zehender. *Demonstration der Wirkung schief stehender sphärischer Linsen.* Ber. über d. 17. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 232.

1132. — *Ueber den Gang der Lichtstrahlen bei schräger Incidenz. Ueber aplanatische Brillengläser.* Ber. über d. 17. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 29 u. 36.

1886.

1133. S. Exner. *Ueber Cylinder, welche optische Bilder entwerfen.* Pflüger's Arch. XXXVIII. S. 217. Nachtrag. XXXIX. S. 244.

1134. L. Matthiessen. *Ueber den Strahlendurchgang durch coaxial-continuirlich geschichtete Kreiscylinder für paraxiale Objecte (Facettenauge der Käfer).* Exner's Rep. d. Phys. XII.

1887.

1135. H. Brockmann. *Beiträge zur Dioptrik centrirter sphärischer Flächen.* Diss. Rostock.

1136. S. M. Burnett. *On some of the optical properties of spherical and cylindrical lenses placed obliquely to the incident pencils of light.* Americ. Journ. of Ophthalm. Vol. IV. S. 15 bis 20

1137. C. Neumann. *Die Brillen, das dioptrische Fernrohr und das Mikroskop.* Wien. Hartleben. 1887. 95 Abb.

1888.

1138. G. Fürchtbauer. *Einige Eigenschaften der optischen Linse in Bezug auf Centralstrahlen.* Nürnberg. Ballhorn.

1139. A. Harchek. *Optometer und Apparat zum Messen der Brennweiten und zum Centriren optischer Linsen.* Breslau. Aerztl. Zeitschr. X. S. 139.

1140. L. Matthiessen. *Ueber ein merkwürdiges optisches Problem von Maxwell.* Exner's Rep. XXIV.

1891.

1141. S. Finsterwalder. *Die von optischen Systemen gröfserer Oeffnung und gröfseren Gesichtsfeldes erzeugten Bilder. Auf Grund der Seidel'schen Formeln untersucht.* Abh. d. k. bayr. Akad. d. Wiss. München. 71 S.

1892.

1142. Ejgil Schmidt. *En Fremstilling af Theorien for centrerede optiske Systemer.* (Eine Darstellung der Theorie der centrirten optischen Systeme.) Nord. ophthalm. Tidsskr. V. S. 1.

1893.

1143. S. Czapski. *Theorie der optischen Instrumente nach Abbe.* (S.-A. a. d. Handb. d. Physik v. A. Winkelmann.) Breslau. E. Trewendt. 292 S.

---

§ 10.

Brechung der Strahlen im Auge.

1. Das optische System des Auges.

Hier ist auch die in §§ 2, 3. 8 und 5 angegebene Litteratur zu beachten.

1575.

1144. Fr. Maurolycus. *Photismi de lumine et umbra ad Perspectivam et radiorum inc dentiam facientes Venetiis 1575.* Messinae 1613. — Eine spätere Gesammtausgab seiner optischen Abhandlungen führt den Titel: Fr. Maurolycus, *Theoremat de lumine et umbra, ad Perspectivam et radiorum incidentiam facientia; Diapho norum partes seu libri tres, in quorum primo de perspicuis corporibus, in secund de Iride, in tertio de organi visualis structura et conspicillorum formis agitur Problemata ad Perspectivam et Iridem pertinentia.* His accesserunt Christopl Clavii e. S. J. notae. Lugduni. 1613.

1583.

1145. Jo. Bapt. Porta. *De refractione Optices parte libri novem.* Neapoli. Liber III—VII

1602.

1146. *Jo. Kepler. *Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditu* Francofurti. 1604. Kap. V.

1611.

1147. Kepler. *Dioptrice, seu demonstratio eorum, quae visui et visibilibus, propter con spicilla non ita pridem inventa, accidunt.* Augustae Vindelicorum 1611.

1619.

1148. C. Scheiner. *Oculus, sive fundamentum opticum.* Innspruck. 1619. London. 165

1695.

1149. Huygens († 1695). *Opera posthuma. Dioptrica.* Lugduni. 1704. S. 112.

1759.

1150. W. Porterfield. *A treatise on the eye.* Edinburg. Vol. I. Book 3. Chapt. 2*.

1776.

1151. J. Priestley. *Geschichte der Optik;* übers. von G. S. Klügel. Leipzig. (*Aelte Geschichte; Berechnung der Brennweite.* S. 465)*.

1152. Rumball. Ann. of Philos. II. 376.

1813.

1153. Andrew Horn. *The seat of vision determined.* London.

1816.

1154. N. Th. Mühlbach. *Inquisitio de visus sensu.* Vindobonae.

1155. Magendie. *Précis élémentaire de Physiologie.* Paris. I. S. 59.

1817.

1156. Campbell. Ann. of Philos. X. S. 17. — Dtsch. Arch. IX. S. 110.

1157. J. Read. Ann. of Philos. XV. S. 260.

1823.

1158. Purkinje. *Commentatio de examine physiologico organi visus et systematis cutan* Vratislaviae.

1825.

1159. C. J. Lehot. *Nouvelle Théorie de Vision.* Paris.

1828.

1160. G. R. Treviranus. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeu* Bremen. 1828. Kap. I*.

1161. Muncke. Art. *Gesicht.* Gehler's physikalisches Wörterbuch; neu bearbeitet. Leipzi IV. 2. S. 1364*.

1830.

1162. A. Hueck. *Das Sehen seinem äufseren Prozesse nach entwickelt.* Riga.

1163. Plagge. Hecker's Annalen. S. 404.

1834.

1164. C. M. N. Bartels. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Berlin. 1834. S. 61.

1836.

1165. A. W. Volkmann. *Untersuchung über den Stand des Netzhautbildchens.* Pogg. Ann. XXXVII. 342*.

1166. — *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig. Kap. IV.

1837.

1167. Joh. Mile. *Ueber die Richtungslinien des Sehens.* Pogg. Ann. XLII. S. 37 u. 235*

1838.

1168. Volkmann. *Theorie zur Berechnung der Zerstreuungskreise des Lichts bei fehlerhafter Accommodation des Auges.* Pogg. Ann. XLV. S. 207*. (Erwiderung gegen den Vorigen.)

1839.

1169. Gerling. *Ueber die Beobachtung von Netzhautbildern.* Pogg. Ann. XLVI. S. 243*.

1170. Knochenhauer. *Ueber die Richtungsstrahlen oder Richtungslinien beim Sehen.* Pogg. Ann. XLVI. S. 248*.

1841.

1171. A. Burow. *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* Berlin. S. 16—93*.

1842.

1172. L. L. Vallée. Compt. Rend. XIV. S. 481.

1173. W. Stamm. *Ueber Volkmann's Richtungslinien des Sehens.* Pogg. Ann. LVII. S. 346*.

1843.

1174. A. W. Volkmann. J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 9 (gegen Burow).

1844.

1175. *L. Moser. *Ueber das Auge.* Dove's Repert. d. Physik. S. 337—349*.

1845.

1176. J. B. Listing. *Beitrag zur physiologischen Optik.* Göttingen (abgedr. aus d. Göttinger Studien). S. 7—21*.

1177. L. L. Vallée. Compt. Rend. XX. S. 1338. — Institut. No. 393. S. 166.

1846.

1178. *A. W. Volkmann. Art. *Sehen* in R. Wagner's Handwörterb. d. Physiol. III. 1. S. 281—290*.

1847.

1179. F. C. Donders. *Holländische Beiträge zu den anat. u. physiol. Wissensch.* I. S. 107—112*.

1849.

1180. J. D. Forbes. *Note respecting the dimensions and refracting power of the eye.* Proc. Edinb. Roy. Soc. Decbr. 3. S. 251 — Silliman Journ. (2.) XIII. S. 413.

1851.

1181. *J. B. Listing. Art. *Dioptrik des Auges* in R. Wagner's Handwörterb. d. Physiol. IV. S. 451—504*.

1852—1861.

1182. L. L. Vallée. *Théorie de l'œil.* Compt. Rend. XXXIV. S. 321—323, 718—720, 720—722, 789—792, 872—876; — XXXV. S. 679—681; — LI. S. 678—680; — LII. S. 702—703, 1020—1021. Mém. des savants étrangers. XII. S. 204—264; XV. S. 98—118, 119 bis 140.

1855.

1183. H. Helmholtz. *Ueber die Accommodation des Auges.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. I. 2. S. 1—74*.

1856.

1184. W. Zehender. *Anleitung zum Studium der Dioptrik des menschlichen Auges.* Erlangen.

1858.

1185. N. Lubimoff. *Recherches sur la grandeur apparente des objets.* Compt. Rend. XLVII. S. 24—27. — Ann. de chim. (3.) LIV. S. 13—27.

1859.

1186. J. H. Knapp. *Die Krümmung der Hornhaut des menschlichen Auges.* Habilitationsschrift. Heidelberg. — Arch. f. Ophthalm. VI. (2.) S. 1—52.

1860.

1187. Breton. *Note sur une propriété du cristallin de l'œil humain.* Compt. Rend. I S. 498—499.

1861.

1188. v. Jäger. *Ueber die Einstellung des dioptrischen Apparates im menschlichen Aug* Wien.

1864.

1189. Giraud-Teulon. *Nouvelle étude de la marche des rayons lumineux dans l'œil. Rôl de chacun des milieux dioptriques.* Ann. d'Ocul. LI. S. 145.

1190. F. C. Donders. *On the anomalies of accommodation and refraction of the ey* London. S. 38—71.

1865.

1191. L. Mandelstamm. *Zur Ophthalmometrie.* Arch. f. Ophthalm. XI. (2.) S. 259.

1192. B. Rosow. *Zur Ophthalmometrie.* Arch. f. Ophthalm. XI. (2.) S. 129.

1866.

1193. J. F. B. Polaillon. *Des milieux réfringens de l'oeil.* Paris.

1868.

1194. Giraud-Teulon *Desiderata existant encore dans les éléments de construction d l'oeil schématique.* Ann. d'Ocul. LX. S. 97.

1869.

1195. Berlin. *Ueber den Einfluſs starker Convexgläser auf das excentrische Sehen.* Kli Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 361.

1196. E. v. Brücke. *Ueber asymmetrische Strahlenbrechung im menschlichen Auge.* Wie Ber. LVIII. 2. S. 321—329.

1197. Reuss u. Woinow. *Ophthalmometrische Studien.* Wien.

1198. Woinow. *Ophthalmometrie. Messungen der Linse.* Klin. Mon.-Bl. VII. S. 47(

1870.

1199. R. E. Dudgeon. *Contribution to the Dioptrics of vision.* Nature. Decbr. 15.

1200. H. Knapp. *Ueber den Einfluſs der Brillen auf die optischen Constanten und d Sehschärfe des Auges.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. I. S. 152.

1201. M. Woinow. *Kritische Analyse der ophthalmometrischen Methode der Bestimmun der dioptrischen Elemente des Auges.* Inaug.-Diss. Moskau. (Russisch.) 1871 i Moskau französisch erschienen.

1202. H. Zinken-Sommer. *Untersuchungen über die Dioptrik des Linsensystems.* Brau schweig.

1871.

1203. L. Hermann. *Notizen für Vorlesungen und andere Versuche. II. Zur Demo stration des Netzhautbildes am albinotischen Kaninchenauge.* Pflüger's Arch. Bd. S. 210.

1872.

1204. G. Borel. *Des lunettes après l'opération de la cataracte.* Rouen.

1205. Giraud-Teulon. *Nécessité, préalable à toute observation optique, d'une déterminatio exacte des constances dioptriques dans notre propre oeil.* Ann. d'Ocul. LXVII S. 56.

1206. Heuse. *Ueber die Beobachtung einer neuen entoptischen Erscheinung.* Arch. Ophthalm. XVIII. (2.) S. 236.

1207. Gama Lobo. *Neue Methode zur Messung des Abstandes der hinteren Linsen- vo der vorderen Hornhautfläche.* Klin. Mon.-Bl. X. S. 288.

1208. L. Mandelstamm u. H. Schöler. *Eine neue Methode zur Bestimmung der optisch Constanten des Auges.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. S. 155.

1209. L. Mauthner. *Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges.* I. Theil. Wie Braumüller.

1210. Woinow. *Zur Lehre über den Einfluſs der optischen Gläser auf die Sehschärf* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 349.

1873.

1211. H. Kiessling. *Die Brechung der Lichtstrahlen im Auge.* Hamburg. 33 S.

1212. E. Landolt. *Axenlänge und Krümmungsradius des Auges.* Klin. Mon.-Bl. Augenheilkde. XI. S. 473—481.

1213. Landolt u. Nuël. *Versuch einer Bestimmung des Knotenpunktes für excentrisch das Auge fallende Lichtstrahlen.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (3.) S. 301.

1874.

1214. O. Becker. *Demonstration und Erklärung einiger Instrumente.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XII. S. 408—422.
1215. L. Hermann. *Ueber schiefen Durchgang von Strahlenbündeln durch Linsen und eine darauf bezügliche Eigenschaft der Krystalllinse.* Gratulationsschrift von C. Ludwig. Zürich. — Pogg. Ann Bd. 153. S. 470.
1216. J. Hirschberg. *Ueber Prof. Laqueur's Ophthalmomikrometer und über eine objective Methode zur Messung des totalen Brechungsvermögens der Krystalllinse und der Axenlänge des lebenden Auges.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 49.
1217. — *Ueber eine objective Methode zur Messung der Hauptbrennweiten der Krystalllinse und der Axenlänge des lebenden Auges.* Wien. med. Presse. XV. No. 45.
1218. Landolt en Nuël. *Proeven ter bepaling van het knooppunt voor excentrisch in het oog vallende Lichtstrahlen.* Onderzoekingen in het Physiol. Laborator. te Utrecht. Derde Reeks. III. S. 1.
1219. L. Mauthner. *Das schematische Auge.* Wien. med. Wochenschr. S. 173.
1220. M. Reich. *Resultate einiger ophtalmometrischer und mikrooptometrischer Messungen.* Graefe's Arch. XX. (1.) S. 207.
1221. W. Stammeshaus. *Ueber die Lage der Netzhautschale zur Brennfläche des dioptrischen Systems des menschlichen Auges.* Arch. f. Ophthalm. XX. (2.) S. 147—170.

1876.

1222. J. Bernstein. *Ueber die Ermittelung des Knotenpunktes im Auge des lebenden Menschen.* Berl. Akad. Ber. 7. Aug. 1876. S. 509.
1223. Boettcher. *Ueber Dioptrik des Auges.* Diss. Berlin.
1224. J. Hirschberg. *Zur Dioptrik des Auges. II. Die Länge des emmetropischen Auges.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XIV. S. 40.
1225. — *Optische Notizen.* Arch. f. Anat. u. Physiol u. wiss. Med. Jahrg. 1876. S. 622 bis 629.
1226. L. Matthiessen. *Ueber den Aplanatismus der Hornhaut.* Graefe's Arch. Bd. 22.
1227. — *Formeln zur Berechnung der Cardinalpunkte des Auges.* Physiol. Optik von Aubert. S. 404—406. Schlömilch's Zeitschr. f. Math. u. Phys. XXI.
1228. — *Ueber die Berechnung des absoluten Brechungsvermögens des Kerncentrums der Krystalllinse.* Gräfe's Arch. Bd. 22.
1229. L. Mauthner. *Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges.* II. Teil. Wien. Braumüller.
1230. J. F. Schroeter. *Zur Dioptrik des menschlichen Auges.* Diss. Berlin.
1231. W. Stammeshaus. *Darstellung der Dioptrik des normalen menschlichen Auges.* Oberhausen. Spaarmann. 240 S.
1232. G. J. Witkowski. *Appareil de la vision.* Paris.

1877.

1233. Badal. *Distance du centre optique de l'oeil au sommet de la cornée.* Soc. de biol. 21. April. — Gaz. d. hôp. S. 374. — Gaz. Méd. de Paris. S. 225.
1234. L. Happe. *Das dioptrische System des Auges in elementarer Darstellung.* Berlin.
1235. J. v. Hasner. *Zur Dioptrik des Auges.* Centralbl. f. pr. Augenhlkde. S. 37—39.
1236. Levi. *Ueber den Einfluſs der Entfernung der Convexlinsen vom Auge.* Ann. di Ottalm. 1877.
1237. L. Matthiessen. *Grundriſs der Dioptrik geschichteter Linsensysteme.* Leipzig. 276 S.
1238. A. v. Reuss. *Untersuchungen über die optischen Constanten ametropischer Augen.* Graefe's Arch. Bd. XXIII. (4.) S. 183—268.
1239. W. Röder. *Ueber Kapseldurchschneidungen und dadurch bedingte Krümmungsveränderungen der menschlichen Hornhaut.* Arch. f. Ophthalm. XXIII. (4.) S. 29—56.

1878.

1240. Badal. *Un oeil artificiel pour essais optométriques et ophthalmoscopiques.* Gaz. Méd. de Paris. No. 10. S. 123.
1241. L. Happe. *Das reducirte Auge.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 182—184.
1242. J. v. Hasner. *Das reducirte Auge.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 31.
1243. — *Erwiderung auf den Artikel: Das reducirte Auge, von Herrn Happe.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 182—184.
1244. — *Ueber das reducirte Auge.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. VII. S. 1—9.
1245. — *Die Gröſsenwerthe des Auges.* Prag. med. Wochenschr. 1878. No. 9.

1246. L. Hermann. *Ueber Brechung bei schiefer Incidenz mit besonderer Berücksichtigung des Auges.* Arch. f. d. ges. Phsiol. XVIII. S. 443—454.
1247. A. Nagel. *Die Bestimmung der Sehaxenlänge am lebenden Auge.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 100—102, 121—123.
1248. L. Mandelstamm. *Ectopia lentis mit berechneter Länge der Augenaxe.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XVI. S. 123.
1249. M. Peschel. *Ueber den Astigmatismus des indirecten Sehens.* Pflüger's Arch. Bd. 18. S. 504.
1250. Pflüger. *Phakometer. Chiastometer.* Beil. z. Augusth. d. Centr.-Bl. f. prakt. Augenheilkde. S. 10—12. — Beil. z. Zehender's klin. Mon.-Bl. S. 46—53.
1251. L. Weiss. *Beitrag zur Dioptrik des Auges.* Berlin.

1879.

1252. A. Fick. *Dioptrik des Auges.* Handb. d. Physiol., hersg. v. L. Hermann. III. 1. S. 3—138.
1253. — *Zur Periscopie des Auges.* Pflüger's Arch. Bd. 19. S. 145.
1254. v. Hasner. *Das mittlere Auge in seinen physiologischen und pathologischen Beziehungen.* Prag. Calve. 117 S.
1255. L. Hermann. *Ueber Brechung bei schiefer Incidenz mit besonderer Berücksichtigung des Auges.* Arch. f. d. ges. Physiol. XX. S. 370—387.
1256. L. Matthiessen. *Die Differentialgleichungen der Dioptrik continuirlich geschichteter Linsen und ihre Anwendung auf die Dioptrik der Krystalllinse.* Schlömilch's Zeitschr. f. Math. u. Phys. Bd. 24. 5. S. 304—315.
1257. — *Die Differentialgleichungen der Dioptrik der geschichteten Krystalllinse.* Pflüger's Arch. Bd. 19. S. 480—562.
1258. — *Ueber die geometrische Gestalt der theoretischen Retina des periskopischen schematischen Auges.* Arch. f. Ophthalm. XXV. (2) u. (4).
1259. L. Mauthner. *Fernpunkt, Brillenlehre, Nahepunkt und Accommodationsbreite, Binocularsehen, Optische Fehler (Astigmatismus).* Wiesbaden. Bergmann.
1260. M. Peschel. *Experimentelle Untersuchungen über die Periskopie der Krystalllinse.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XX. S. 338—353.
1261. — *Berechnung der Cardinalpunkte des Auges.* Centralbl. f. Augenheilkde. III. S. 201—202.
1262. Rasmus u. Wauer. *Mathematische Theorie der Periskopie des menschlichen Auges.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XX. S. 264—282.
1263. Schön. *Bemerkungen über die Dioptrik der Krystalllinse und die Periskopie des Auges.* du Bois-Reymond's Arch. f. Physiol. 1879. Suppl.-Bd. S. 136—166.
1264. G. Weisker. *Die optischen Fehler des Auges. I.* Schulprogr. Rathenow.

1880.

1265. Croullebois. *Sur la grandeur et les variations des images de Purkinje.* Compt. Rend. Bd. 92. S. 73—76.
1266. A. v. Reuss. *Ophthalmometrische Mittheilungen.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (3.) S. 1.

1881.

1267. L. Matthiessen. *Untersuchungen über den Aplanatismus und die Periscopie der Krystalllinsen in den Augen der Fische.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 21. S. 287.
1268. — *Neue Untersuchungen über den Aplanatismus und die Periscopie der Krystalllinsen in den Augen der Fische.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 25. S. 193.
1269. — *Zur Integration der Differentialgleichungen in der Dioptrik der continuirlich geschichteten kugelförmigen Krystalllinse der Fische.* Schlömilch's Ztschr. f. Math. u. Phys. Bd. 26.
1270. S. Morton. *Refraction of the eye.* London. Lewis.
1271. Perrin. *Optométrie ou dioptrique de l'oeil.* Dict. encycl. de sc. méd. Paris. XVI. S. 449.
1272. W. Schön. *Brechung schiefer Strahlenbündel in thierischen Linsen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 64.
1273. — *Der Aplanatismus der Hornhaut.* Horner-Festschrift. Wiesbaden. S. 125—131.
1274. F. Tartuferi u. G. Albertotti. *Sulle variazioni del valore di refractione conseguenti alle evacuazioni dell' umor aqueo. Note sperim.* Ann. di ottalm. X. 3. S. 238—248.

1882.

1275. L. Forbes. *Eine neue Form des schematischen Auges.* Arch. f. Augenheilkde. S. 328.
1276. L. Hermann. *Ueber Brechung bei schiefer Incidenz mit besonderer Berücksichtigung des Auges.* Arch. f. d. ges. Physiol. XXVII. S. 291.
1277. J. Hirschberg. *Refraction.* Eulenburg's Real-Encykl. d. ges. Heilkde.
1278. — *Zur Dioptrik und Ophthalmoskopie der Fisch- und Amphibienaugen.* du Bois' Arch. S. 493.
1279. L. Matthiessen. *Die zwanzig Cardinalpunkte des menschlichen Auges.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 154.
1280. — *Ueber die Beziehungen, welche zwischen dem Brechungsindex des Kerncentrums der Krystalllinse und den Dimensionen des Auges bestehen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 27. S. 510.
1281. Parent. *Comment sont refractés les rayons tombant obliquement sur l'œil?* Rec. d'Ophthalm. S. 220.

1883.

1282. L. Matthiessen. *Ueber den schiefen Durchgang unendlich dünner Strahlenbündel durch die Krystalllinse des Auges.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 32. S. 97.
1283. — *Differentialgleichungen in der Dioptrik der continuirlich geschichteten kugelförmigen Krystalllinse der Fische.* Schlömilch's Zeitschr. f. Math. u. Phys. Bd. 28.
1284. — *Ueber die Form astigmatischer Bilder sehr kleiner gerader Linien bei schiefer Incidenz der Strahlen in ein unendlich kleines Segment einer brechenden sphärischen Fläche.* Arch. f. Ophthalm. XXIX. (1.) S. 147.
1285. P. Moennich. *Ueber den physikalisch-optischen Bau des Rindsauges.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. II. S. 1—30. — Sep. Leipzig.
1286. H. F. Newall. *Internal reflexions in the eye.* Proc. Roy. Soc. XXXIV. S. 473—480.
1287. G. Weisker. *Die optischen Fehler des Auges. II.* Progr. d. höher. Bürgerschule Rathenow. 18 S.

1884.

1288. G. Hartridge. *The Refraction of the eye.* London. 1884. 212 S.
1289. L. Matthiessen. *Ueber den physikalisch-optischen Bau des Löwenauges.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 35. S. 68.
1290. — *Ueber die radiale Ausdehnung des Sehfeldes und die Allometropie des Auges bei indirectem Sehen.* Graefe's Arch. Bd. 30. (1.) S. 91.
1291. H. Schöler. *Bestimmung des physikalischen Baues des Auges.* Graefe's Arch. Bd. XXX. (3.) S. 301.
1292. W. Schön. *Beiträge zur Dioptrik des Auges.* Leipzig. 1884. 114 S.
1293. H. Westien. *Mittheilungen aus dem physiologischen Institut der Universität Rostock (über den Gang der Lichtstrahlen in der accommodirten und ruhenden Linse und durch die Ophthalmometerplatten).* Zeitschr. f. Instrumentenkde. — Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 217.

1885.

1294. L. Howe. *Arrangement for the demonstration of refraction and accommodation.* Americ. ophthalm. Soc. Americ. Journ. of Ophthalm. S. 149.
1295. L. Matthiessen. *Ueber Begriff und Auswerthung des sog. Totalindex der Krystalllinse.* Pflüger's Arch. Bd. 36. S. 72.
1296. — *Ueber den physikalisch-optischen Bau des Auges der Vögel.* Pflüger's Arch. Bd. 38. S. 104.

1886.

1297. J. Egorow. *Ueber den Knotenpunkt des Auges.* (Russisch.) Diss. Kasan.
1298. G. Hartridge. *The refraction of the eye.* 2. Aufl. London. A. Churchill.
1299. L. Howe. *An apparatus for the demonstration of accommodation and refraction.* Arch. of Ophthalm. XV. No. 3.
1300. C. Landsberg. *Zur Dioptrik des Auges und der Augengläser.* Centralztg. f. Opt. u. Mech. VII. S. 241—245, 253—257, 270—272, 277—282.
1301. W. Lang u. Barret. *The refractive character of the eyes of mammalia.* Ophthalm. hosp. Rep. XI. Juli.
1302. L. Matthiessen. *Ueber den physikalisch-optischen Bau des Auges der Cetaceen und der Fische.* Pflüger's Arch. XXXVIII. S. 512—528. XXXIX. S. 204.
1303. — *Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. Bd. IV. S. 1.

1887.

1304. A. G. Heyl. *The visual axis.* Transact. of the IX. Internat. med. Congr. at Washington. III. — Amer. Journ. of Ophthalm. S. 269.

1305. L. Matthiessen. *Ueber den physikalisch-optischen Bau des Auges von Cervus alces mas.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 40. S. 314.

1306. — *Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. Bd. V. S. 21 u. 97.

1307. P. Moennich. *Neue Untersuchungen über das Lichtbrechungsvermögen der geschichteten Krystalllinse der Vertebraten.* Habilit.-Schr. — Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 397.

1888.

1308. J. B. Emerson. *A schematic eye for students of ophthalmoscopy.* Post Graduate. New-York 1888/89. S. 46.

1309. A. Klingsberg. *Ueber den physikalischen Bau des Auges der Hauskatze.* Arch. d. Freunde d. Naturgesch. in Mecklenburg. Güstrow. Opitz.

1310. Pedrazzoli. *Presentazione di un apparecchio schematico per la dimostrazione della refrazione statica.* Ann. di Ottalm. XVII. S. 252.

1311. J. Oscroft-Tansley. *A new instrument for demonstrating refraction of the eye.* Amer. Journ. of Ophthalm. S. 311

1312. Tscherning. *Bidrag til det menneskelige öjesdioptrik.* (*Beiträge zur Dioptrik des menschlichen Auges.*) Nord. oftalm. Tidsskr. I. S. 53.

1313. — *Étude sur la position du cristallin de l'œil humain.* Compt. Rend. Bd. 106. No. 16. S. 1185.

1889.

1314. G. Hartridge. *The refraction of the eye.* London. 3. ed.

1315. A. Kurz. *Das Auge und die allgemeine Linse.* Exner's Rep. XXV. S. 755—764.

1316. — *Das schematische Auge des Menschen.* Exner's Rep. XXV. S. 587—593.

1317. L. Matthiessen. *Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse. Kap. II. Die peripherische Dioptrik für paraxiale Objecte.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VI. S. 118.

1318. Tscherning. *Position du cristallin dans l'œil humain.* Compt. Rend. de la VII. réun. de la Soc. franç. d'Ophthalm. Rév. gén. S. 350.

1890.

1319. G. Hartridge. *The refraction of the eye.* Fourth edition. Philadelphia. Blakiston.

1320. J. Hirschberg. *Diabetische Kurzsichtigkeit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. 14. Jahrg. S. 7—8.

1321. J. Kiessling. *Zur Erklärung des Sehens mit bewaffnetem Auge.* Festschr. d. Hamb. mathem. Ges. z. 200jähr. Jubelfest. S. 125—128.

1322. C. Koller. *Elimination of the cornea and its effect upon the refraction of the eye.* Americ. Journ. of Ophthalm. Juli.

1323. L. Matthiessen. *Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse.* 3. Folge. Wiesbaden. Bergmann.

1324. P. Pierini. *Saggio di appunti critici di ottica fisiologica.* Giorn. d. Reale Accad. di Med. No. 11 u. 12.

1891.

1325. F. van Fleet. *The normal refraction of the eye.* Med. Rec. (New-York) 15. Decbr. S. 682—684.

1326. L. Matthiessen. *Ueber den physikalisch-optischen Bau des Auges der norwegischen Barten- oder Finwale.* Pflüger's Arch. XLIX. S. 549—562.

1327. — *Die neueren Fortschritte in unserer Kenntnifs von dem optischen Bau des Auges der Wirbelthiere.* Beitr. z. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. Helmholtz-Festschr. S. 49—112. (Auch separat erschienen. Hamburg, L. Voss.)

1328. A. Morton. *Refraction of the eye.* 4. ed. London. Lewis.

1329. J. Musgrove. *De la force réfringente de la cornée, de l'ophthalmométrie et du cylindre correcteur de l'astigmatisme cornéen.* Rev. gén. d'ophthalm. X S. 193—219.

1330. F. Ostwalt. *Einige Worte über Gläsercorrection bei Aphakie.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXIX. S. 283.

1331. — *De la force réfringente de la cornée, de l'ophtalmométrie et du cylindre correcteur de l'astigmatisme cornéen.* Rev. gén. d'ophthalm. No. 5 u. 6.

1332. M. Tscherning. *Recherches sur la quatrième image de Purkinje.* Arch. de Physiol. 5. sér. T. III. S. 96—107.

1333. — *Théorie des images de Purkinje et déscription d'une nouvelle image.* Arch. de Physiol. 5. sér. T. III. S. 357—372.

1334. — *Sur une image à la fois catoptrique et dioptrique de l'œil humain et une nouvelle méthode pour déterminer la direction de l'axe optique de l'œil.* Bull. de la Soc. Française de l'ophthal. S. 203.

1892.

1335. Sw. M. Burnett. *The general form of the human cornea and its relation to the refraction of the eye and visual acuteness.* Americ. Journ. of Ophthalm. August. Transact. of the Americ. ophthalm. soc. S. 316.

1336. Knoepfler. *Contribution clinique à l'étude de la position du cristallin dans l'œil humain à l'état de repos et d'activité de l'accommodation.* Rev. méd. de l'Est. 15. Juni.

1337. G. Martin. *Valeur réfractaire du cristallin chez les myopes.* Rev. gén. d'ophthalm. XI. S. 22—23.

1338. L. Matthiessen. *Die zweiten Purkinje'schen Bilder im schematischen und im wirklichen Auge.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 280—296.

1339. F. Ostwalt. *Auch noch einmal die Gläsercorrection bei Aphakie.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXX. S. 178—181.

1340. M. Tscherning. *Beiträge zur Dioptrik des Auges.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 429—492.

1341. — *Les images catoptriques de l'œil humain.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 23. Juli. S. 688.

1893.

1342. E. Baquis. *Sopra il fenomeno endoptico di Heuse. Appunti critici e nuova interpretazione.* Ann. di Ottalm. Anno XXII. S. 471.

1343. A. Klingberg. *Beiträge zur Dioptrik der Augen einiger Hausthiere.* 3. Theil. Progr. Güstrow. 18 S.

1344. L. Matthiessen. *Ueber den physikalisch-optischen Bau der Augen vom Knölwal (Megaptera boops. Fabr.) und Finnwal (Balaenoptera musculus Comp.)* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 77—102.

1345. — *Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse.* (Vierte Folge.) Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 102—189.

1346. H. Parent. *Exposé élémentaire de la dioptrique oculaire.* Arch. d'Ophthalm. XIII. 3. S. 145—167.

1347. Tscherning. *Les sept images de l'oeil humain.* Journ. de phys. (3.) Bd. II. S. 118—126.

1348. E. Vitali. *Occhio diottrico.* Ann. di Ottalm. XXII. S. 219.

1894.

1349. H. Bordier. *Modifications de la grandeur des images rétiniennes par les verres correcteurs dans les différentes amétropies.* Arch. d'Ophthalm. XIV. S. 279—297.

1350. G. Hartridge. *The refraction of the eye.* London. Churchill.

1351. F. Lagrange. *De l'égalité des images rétiniennes dans l'amétropie axile corrigée et dans l'emmétropie; nouvelle démonstration élémentaire.* Ann. d'Ocul. CXI. S. 81.

1352. — *De l'égalité des images rétiniennes dans l'amétropie axile corrigée et dans l'emmétropie.* (*Note complémentaire.*) Ann. d'Oculist. Bd. CXI. S. 279.

1353. F. Smith. *The refractive character of the eyes of horses.* London. Roy. Soc. Bd. 55. No. 334. S. 414.

1354. A. Steiger. *Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraction.* Arch. f. Augenheilkde. XIX. S. 98—111.

1355. — *Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraktion.* 1. Theil. Wiesbaden. J. F. Bergmann. 135 S.

1356. M. Tscherning. *Un reflet intra-oculaire.* Arch. de Physiol. (5.) VI. S. 158—163.

2. Messung der Brechungsverhältnisse.

Die meisten dieser Bestimmungen sind in den im unmittelbar vorhergehenden Abschnitt dieses Paragraphen angeführten Abhandlungen enthalten. Ferner finden sich solche in:

1710.

1357. Hawksbee. *Apparatus for making experiments on the refraction of fluids.* Philos Transact. 1710. S. 204.

1785.

1358. A. Monro. *On the structure and physiology of fishes.* S. 60.

1801.

1359. Th. Young. *On the mechanism of the eye.* Philos. Transact. 1801. I. 40*.

1813.

1360. D. Brewster. *A Treatise on new philosophical Instruments.* Edinburgh. S. 243.

1818.

1361. Chossat. *Sur le pouvoir réfringent des milieux de l'oeil.* Ann. de chim. et de phys. VIII. S. 217. — Bulletin des sc. par la Soc. philomat. de Paris. Juin. S. 294.

1819.

1362. D. Brewster. Edinb. Philos. Journ. No. 1. S. 47.

1840.

1363. Cahours et Becquerel. *Sur le pouvoir réfringent des liquides.* Ann. de chim. et phys. XI. — Institut. S. 399.

1847.

1364. S. Pappenheim. Compt. Rend. XXV. 901. — Arch. d. sc. phys. et nat. VII. S. 78

1365. Quesnel. Rev. scientif. XXXII. S. 144.

1849.

1366. Bertin. *Sur la mesure des indices de réfraction des lames transparents et des liquides à l'aide du microscope ordinaire.* Ann. de chim. et de phys. XXVI. S. 288. — Compt. Rend. XXVIII. S. 447. — Institut. No. 796. S. 105. — Arch. d. sc phys. et nat. XII. S. 45. — Pogg. Ann. LXXVI. S. 611.

1850.

1367. Engel. *Zur Physik des Auges.* Prag. Vierteljahrsschr. f. prakt. Heilkde. I. S. 152

1368. H. Mayer. Prag. Vierteljahrsschr. f. prakt. Heilkde. IV. Beilage u. 1851. IV. S. 92

1852.

1369. Ryba. *Prüfung des Brechungsverhältnisses durchsichtiger Körper.* Prag. Vierteljahrsschr. II. S. 95.

1855.

1370 W. Krause. *Die Brechungsindices der durchsichtigen Medien des menschlichen Auges.* Hannover. 1855*.

1857.

1371. W. Zehender. *Ueber die Brewster'sche Methode zur Bestimmung der Brechungsexponenten flüssiger und festweicher Substanzen.* Arch. f. Ophthalm. III. (2. S. 99.

1869.

1372. E. v. Cyon. *Die Brechungsquotienten des Glaskörpers und des Humor aqueus.* Wien Ber. LIX. 2. S. 101—103. (Aufgenommen in: Gesammelte Abhdlgn. Berlin. 1888 S. 245.) — Arch. de physiol. 1869. S. 555.

1872.

1373. S. Fleischer. *Neue Bestimmung der Brechungsexponenten der durchsichtigen flüssigen Medien des Auges.* Inaug.-Diss. Jena.

1873.

1374. E. Landolt. *Axenlänge und Krümmungsradius des Auges.* Klin. Monatsbl. f Augenheilkde. XI. S. 473—481.

1874.

1375. E. Abbe. *Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester und flüssiger Körper.* Jena.

1376. E. v. Cyon. *Ueber den Brechungsindex der flüssigen Augenmedien.* Centralbl. f. d med. Wiss. No. 50. S. 785.

1377. J. Hirschberg. *Ueber Bestimmung der Brechungsindices der flüssigen Medien des menschlichen Auges.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 13.

1378. — *Zur Brechung und Dispersion der flüssigen Augenmedien.* Centralbl. f. d. med Wiss. No. 52.

1379. — *Ueber das Brechungsverhältniſs der flüssigen Medien des menschlichen Auges.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. IV. S. 45.

1380. Woinow. *Ueber die Brechungscoefficienten der verschiedenen Linsenschichten.* Brief Mitth. in Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. Jahrg. XII. S. 407.

1877.

1381. W. Zehender und L. Matthiessen *Ueber die Brechungscoefficienten cataractöser Linsensubstanz.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XV. S. 239—257.

1879.

1382. Valentin. *Ein Beitrag zur Kenntnifs der Brechungsverhältnisse der Thiergewebe.* Arch. f. Physiol. XIX. S. 78—105. XX. S. 283—314.

1383. W. Zehender, L. Matthiessen und O. Jacobsen. *Ueber die Brechungscoefficienten und die chemische Beschaffenheit cataractöser Linsensubstanz.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XVII. 307—317. — Ber. üb. d. XII. Vers. d. Ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 189.

1885.

1384. L. Matthiessen. *Ueber das Gesetz der Zunahme der Brechungsindices innerhalb der Krystalllinse der Säugethiere und Fische.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXI. (2.) S. 31—34.

1891.

1385. H. Bertin-Sans. *Influence de l'âge sur les indices de réfraction des différentes couches du cristallin.* Arch. d'ophthalm. XI. S. 289.

3. Das Gesichtsfeld und die Perimeter.

Man beachte auch die in § 28 angegebene Litteratur.

1855.

1386. A. v. Graefe. *Ueber die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei ambliopischen Affectionen.* Arch. f. Ophthalm. II. (2.) S. 258.

1861.

1387. M. Korn. *De retinae vi sentiendi ejusque finibus.*

1867.

1388. Förster. *Ueber Gesichtsfeldmessungen.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. V. S. 293.
1389. Wecker. *Ein neuer Gesichtsfeldmesser.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. V. S. 275.
1390. — *Le mensurateur du champ de la vision.* Rev. méd. I. S. 362.
1391. — *Horatometer oder Gesichtsfeldmesser.* Bull. de l'Acad. de méd. XXII. S. 546.

1868.

1392. Förster. *Mensurations du champ visuel monoculaire.* Ann. d'Ocul. LIX. S. 5.

1869.

1393. Förster. *Das Perimeter.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 411.
1394. Möser. *Das Perimeter und seine Anwendung.* Inaug.-Diss. Breslau.

1870.

1395. Heymann. *Ueber einige neue Methoden der Gesichtsfeldprüfung.* Jahresber. d. Ges. f. Natur- u. Heilkde. in Dresden. Juni 1869 bis Mai 1870. S. 66.
1396. Uschakoff. *Ueber die Gröfse des Gesichtsfeldes bei Augen mit verschiedener Refraction.* Arch. f. Anat. S. 454.

1871.

1397. Landolt. *Il Perimetro e la sua applicazione.* Ann. d'Ottalm. I. S. 1.
1398. Reich. *Matériaux servant à définir les limites du champ visuel etc.* Inaug.-Diss. St. Petersburg.

1872.

1399. B. Carter. *Ein neues Perimeter.* Klin. Mon.-Bl. X. S. 282.
1400. W. Dobrowolsky. *Zur Lehre von der Gröfse des Gesichtsfeldes.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 159—163.
1401. Scherk. *Ein neuer Apparat zur Messung des Gesichtsfeldes.* Klin. Mon.-Bl. S. 151.

1873.

1402. W. Schön. *Die Lehre vom Gesichtsfelde.* Klin. Mon.-Bl. 1873. S. 171.

1874.

1403. A. Schenkl. *Ein Beitrag zur Sehfeldbestimmung.* Vierteljahrsschr. f. prakt. Heilkde. CXXIII. (XXXI. 3.) S. 77.
1404. Schön. *Die Lehre vom Gesichtsfeld und seine Anomalien.* Berlin. 150 S.
1405. P. Schröter. *Zur Gesichtsfeldmessung.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XII. S. 39—43.

1875.

1406. J. Hirschberg. *Zur Gesichtsfeldmessung.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. IV. 2. S. 268—272.
1407. F. Pauli. *Beiträge zur Lehre vom Gesichtsfelde.* München.

1877.

1408. Badal. *Perimètre portatif et Schémographe.* Bull. mens. de la clinique du Dr. B Paris. Delahaye. S. 11—14.
1409. F. C. Donders. *Die Grenzen des Gesichtsfeldes in Beziehung zu denen der Netzhaut* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (2.) S. 255—280. — XVIII. j. verl. Nederl gasth. etc. S. 1—26. — Utrecht'sche Onderzoek. 3 reeks. IV. S. 325—350.
1410. — *Over de grenzen van het gezigtsveld, in verband met die van het netvlies* K. Akad. van Wet. te Amsterdam. Afd. Naturkde. 27. April. S. 3.
1411. Doucet. *Der l'exploration du champ visuel.* Thèse de Paris.
1412. R. Förster. *Gesichtsfeldmessung bei Anästhesie der Netzhaut.* Beil. z. d. kl Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 162—166. — Beil. z. Septemberhft. d. Centralbl. f prakt. Augenheilkde. S. 28
1413. Grossmann und Mayerhausen. *Beitrag zur Lehre vom Gesichtsfelde bei Säuge thieren.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (3.) S. 217—240.
1414. — *Bepaling betrekkelijk het gezichtsveld bij eenige zoagdieren.* XVIII. j. versl Nederl. gasth. etc. S. 27—50. Onderzoek. 3. reeks. IV. S. 351—374.
1415. H. Liévin. *Ueber die Gröfse und Begrenzung des normalen Gesichtsfeldes.*
1416. J. Stilling. *Notiz über einen neuen Perimeter.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde S. 105—107.

1879.

1417. H. Wilbrand. *Das Verhalten der Gesichtsfelder beim angeborenen Nystagmus un dem Nystagmus der Bergleute* Zehender's kl. Mon.-Bl. April 1879.

1880.

1418. A. Critchett. *Chart for Measuring the Field of Vision.* Pickard and Cuny London.
1419. D. de la Vigerie. *Le champ visuel et sa valeur clinique.* Thèse de Paris.

1881.

1420. A. Critchett. *Chart for measuring the field of vision.* Brit. med. Journ. 1. Jan S. 9.
1421. Mc. Hardy. *An improved self-registering perimeter.* Ophthalm. Rev. I. S. 107. — Lancet. (1882) I. No. 4.
1422. Wernicke. *Ueber eine gröfsere Anzahl von Gesichtsfeldaufnahmen.* Du Bois Reymond's Arch. S. 171.

1882.

1423. M. Blix. *Ein selbst registrierendes Perimeter.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. April.
1424. E. Emmert. *Die Gröfse des Gesichtsfeldes in Beziehung zur Accommodation.* Arch f. Augenheilkde. XI.
1425. Hosch. *Ueber Gesichtsfeldmessung.* Corresp.-Bl. f. schweiz. Aerzte. 8.
1426. W. L. C. Stevens. *Description of a registering perimeter.* Transact. internat med. Congr. 7. Sess. London. 1881. III. S. 123.
1427. Story. *Demonstration eines Perimeters.* Ber. d. XIV. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 172.
1428. *Perimetrie.* Eulenburg's Realencycl. d. ges. Heilkde. S. 476.

1883.

1429. J. B. Emerson. *A new instrument for testing the field of vision.* Med. Rec New York. XXIII. S. 251.
1430. Förster. *Das Kartennetz zur Eintragung der Gesichtsfelder.* Ber. d. ophthalm Ges. zu Heidelberg. S. 131.
1431. R. Hilbert. *The representation of the limits of the visual field.* Arch. of Ophthalm XII. S. 303.
1432. — *Die Darstellung der Gesichtsfeldgrenzen.* Arch. f. Augenheilkde. XII. S. 436
1433. Kazaurow. *Ueber den Einflufs der Accommodation des Auges auf Veränderun der Grenzen des Gesichtsfeldes.* Wratsch. No. 2.
1434. J. L. Minor. *The field of vision.* Americ. Journ. of med. sc. S. 77.
1435. Stöber. *Du champ visuel simple ou achromatique et de ses anomalies.* Arch d'Ophthalm. S. 56, 138 u. 252.

1884.

1436. J. Albertotti. *Ein autometrisches, selbstregistrirendes Perimeter.* Kl. Mon.-Bl f. Augenheilkde. S. 465.

1437. J. Albertotti. *Autoperimetro registratore.* Clinic. oftalm. di Torino. Ann. d'Ocul. Bd. 92. S. 198.

1438. O. Baer. *Ueber Gesichtsfeldmessung und deren allgemeine diagnotische Bedeutung.* Leipzig. Volkmann's Sammlg. klin. Vortr. No. 246.

1439. Cl. du Bois-Reymond. *Ein Perimeter.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 188.

1440. P. Bunge. *Ueber Gesichtsfeld und Faserverlauf im optischen Leitungsapparat.* Habil.-Schr. Halle. 36 S.

1441. E. Dyer. *A new perimeter.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 686.

1442. Ferri. *La périmétrie et les périmètres enregistreurs.* Arch. ital. de Biol. 2. S. 142.

1443. Galezowski. *Nouveau modèle de périmètre.* Rec. d'Ophthalm. S. 649.

1444. Gazepy. *Campimètre portatif.* Rec. d'Ophthalm. S. 455. Union méd. No. 94.

1445. G. Graselli. *Due notevoli perimetrie.* Gaz. med. ital. lomb. IV. S. 163.

1446. Maklakoff. *Le périmètre de précision.* Arch. d'Ophthalm. S. 83.

1447. G. Mayerhausen. *Ein neues selbstregistrirendes Perimeter.* Arch. f. Augenheilkde. XIII. S. 207.

1448. — *Selbstregistrirender Perimeter.* Ber. d. XIV. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 132.

1449. B. A. Randall. *A new perimeter for measuring the visual field.* Med. News Philos. XLV. S. 419.

1885.

1450. W. Ehrhardt. *Ueber den Einflufs electrischer Ströme auf das Gesichtsfeld.* Diss. München. — Centralbl. f. d. med. Wiss. 1886. No. 10.

1451. Ferri. *La perimetria ed i perimetri registratori.* Ann. di Ottalm. S. 53.

1452. Galezowsky. *Perimetro del dott. Galezowsky.* Ann. di Ottalm. S. 182. — Bull. et mém. Soc. franç. d'Ophthalm. III. S. 320. — Arch. d'Ophthalm. S. 181.

1453. G. de Grandmont. *De la nécessité d'une numération commune en périoptométrie.* Rec. d'Ophthalm. S. 134. — Rec. clin. d'Ocul. II. S. 26.

1454. — *Périmètre enregistreur et numérateur.* Arch. d'Ophthalm. S. 181.

1455. A. Hill Griffith. *The field of vision.* Med. Chron. Nov. 1885. S. 89.

1456. E. Konrad und J. Wagner. *Ueber den Werth der Engelskjön'schen electrodiagnostischen Gesichtsfelduntersuchung.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkr. XVI. 1. S. 101.

1457. G. Mayerhausen. *Verbesserung an meinem selbstregistrirenden Perimeter.* Arch. f. Augenheilkde. XV. S. 306.

1458. — *A new self-registering perimeter.* Arch. of Ophthalm. XIV. No. 1.

1459. Mello. *Note sur un nouvel instrument destiné à la mensuration du champ visuel et de la diplopie.* Arch. d'Ophthalm. S. 276.

1460. A. Nieden. *Demonstration eines selbstregistrirenden Perimeters.* Ber. üb. d. 18. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 241.

1461. Hj. Schiötz. *Ein selbstregistrirendes Perimeter.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. 1. S. 13.

1462. H. Wilbrand. *Ueber concentrische Gesichtsfeldeinschränkung bei functionellen Störungen der Grofshirnrinde und über Incongruenz hemianopischer Gesichtsfelddefecte.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 73.

1886.

1463. B. Carter. *Two perimeters.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 506 u. Ophthalm. Rev. S. 118.

1464. W. S. Dennet. *Dyer's Perimeter.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 359.

1465. E. Dyer. *The hemispherical wire perimeter.* Ophthalm. Rev. S. 273.

1466. K. Koller. *Ueber das Gesichtsfeld.* Wien. med. Wochenschr. No. 9.

1467. Ch. Leegard. *Ueber die electro-diagnostische Gesichtsfelduntersuchung.* Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 38. S. 525.

1468. J. L. Minor. *Reference chart of the field of vision.* Dtsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 38. S. 287.

1469. Th. Reid. *Perimeter.* Ophthalm. Rev.

1887.

1470. A. Nieden. *Gesichtsfeld-Schema zum Gebrauch für gewöhnliche und für selbstregistrirende Perimeter.* 2. Aufl. Wiesbaden. Bergmann.

1888.

1471. J. B. Emerson. *A new instrument for testing the field of vision.* Post Graduate. New-York. 1888 89. S. 46.

1472. G. de Grandmont. *Périoptométrie et chromatopsie; périmètre et chromatoptomètr.* Arch. d'Ophthalm. VIII. S. 208.
1473. L. Ozoulay. *Campimètre de poche.* Progr. méd. No. 46. S. 426.
1474. Pedrazzoli. *Nuovo perimetro.* Ann. di Ottalm. XVII. S. 217.
1475. C. Schweigger. *Ein handliches Perimeter.* Arch. f. Augenheilkde. S. 469.

1889.

1476. J. Bjerrum. *Ueber Untersuchung des Gesichtsfeldes.* Med. selsk. forhandl. S. 21
1477. Deeren. *Quelques critiques sur les périmètres.* Rec. d'Ophthalm. S. 474—479 u 519—523.
1478. A. Groenouw. *Wo liegt die vordere Grenze des ophthalmoskopisch sichtbaren Auger hintergrundes?* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (3.) S. 29.
1479. Schweigger. *A handy perimeter.* Arch. Ophthalm. XVIII. S. 187. New-York.

1890.

1480. J. Bjerrum. *Ueber eine Ergänzung der gewöhnlichen Gesichtsfelduntersuchung sowie über das Gesichtsfeld bei Glaukom.* Nord. ophthalm. Tidsskr. II. S. 3.
1481. J. Hirschberg. *Geschichtliche Bemerkung zur Gesichtsfeldmessung.* Centralbl. prakt. Augenheilkde. 14. Jahrg. S. 350—351.
1482. O. König. *Beobachtungen über Gesichtsfeld-Einengung nach dem Förster'sche Typus.* Arch. f. Augenheilkde. XXII. S. 264—286.
1483. Jocqs. *Un perimètre modifié.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 228.
1484. Lagrange. *Leçons sur les anomalies de la réfraction et de l'accommodation, suivie de l'examen du sens chromatique et du champ visuel.* Paris, Steinheil. 1890.
1485. De Lapersonne. *Un nouveau périmètre pratique.* Ann. d'Ocul. Bd. 103. S. 29—3
1486. A. Nieden. *Gesichtsfeld-Schema.* 3. Aufl. Wiesbaden. Bergmann.
1487. Pedrazzoli. *Nouveau périmètre.* Verona.
1488. Reymond. *Studio sulle alterazioni dei campi visivi nella cura dello strabismo.* XI. Congr. dell' Assoc. Oftalm. Ital. Pisa. 1890. — Ann. di Ottalm. XIX.

1891.

1489. P. Braunschweig. *Eine neue Form des Perimeters.* Zeitschr. f. Instrumentenkd S. 58—60.

1893.

1490. A. Antonelli. *Scotometro.* Ann. di Ottalm. XXII. S. 19. — Ann. d'Oculist. T. 11(S. 31.
1491. Bagot. *Nouveau périmètre de poche.* Ann. d'Oculist. Bd. 110. S. 100.
1492. T. E. Giles. *A new perimeter.* Arch. of Ophthalm. XXII. S. 28—30.
1493. C. J. A. Leroy. *Champ optique, champ visuel absolu et relatif de l'œil humai* Compt. Rend. Bd. 116. S. 377—379.

1894.

1494. D. Axenfeld. *Eine einfache Methode, Hemianopsie zu constatiren.* Neuro Centralbl. XIII. S. 437—438.
1495. Groenouw. *Beiträge zur Kenntniſs der concentrischen Gesichtsfeldverengerun* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (2.) S. 172—223.
1496. G. T. Ladd. *Direct control of the retinal field.* The Psychol. Rev. I. S. 351—36
1497. H. Salomonsohn. *Ueber die sog. pathologische Netzhautermüdung.* (Mit Benutzun eines Vortrages, gehalten in der Berliner ophthalm. Gesellschaft am 18. Januar Berl. Klin. Heft 70. — Sep. Berlin. Fischer. 21 S.
1498. R. Simon. *Ueber die Entstehung der sog. Ermüdungseinschränkungen des Gesicht feldes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (4.) S. 276—307.
1499. F. M. Wilson. *A portable perimeter with its apology for existence.* Transact. (the Americ. Ophthalm. Soc. XXX. ann. meeting. S. 226. Washington.

§ 11.
Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut.

1. Aeltere Litteratur.

Hier ist auch die Litteratur im § 18. 8 zu beachten.

1575.

1500. FR. MAUROLYCUS. *De lumine et umbra.* Lib. III.

1583.

1501. J. B. PORTA. *De refractione.* Lib. VIII.

1604.

1502. J. KEPLER. *Paralipomena ad Vitellionem.* S. 200.

1619.

1503. SCHEINER. *Oculus.* S. 32—49.

1685.

1504. DE LA HIRE. Journ. des Sçavans. Ann. 1685.

1693.

1505. DE LA HIRE. *Sur différents accidents de la vue.* Anc. Mém. Par. X.

1709.

1506. DE LA HIRE. *Explications de quelques faits d'optique et de la manière dont se fait la vision.* Mém. de l'Acad. de Paris. S. 95. (Sehen im Wasser.)

1507. DE LA MOTTE. *Versuche und Abhandlungen der Gesellschaft in Danzig.* Bd. II. S. 290. (Theorie des Scheiner'schen Versuchs.)

1738.

1508. JURIN. *Essay on distinct and indistinct vision* in SMITH System of Optics. Cambridge.

1759.

1509. PORTERFIELD. *On the eye.* S. 389—423*. (Theorie des Scheiner'schen Versuchs.)

1792.

1510. G. ADAMS. *An essay on vision.* London. 2d. ed., übersetzt von F. Kries. Gotha. 1794. (Ausführlich über Brillen.)

1800.

1511. J. BISCHOFF. *Praktische Abhandlung der Dioptrik.* Stuttgart. 2. Aufl. (Ueber Brillen.)

1801.

1512. TH. YOUNG. *On the mechanism of the eye.* Philos. Transact. P. I. S. 34. (Optometer.)

1810.

1513. GILBERT in seinen Annalen d. Physik. XXXIV. S. 34 u. XXXVI. S. 375. (Sehen im Wasser.)

1514. WOLLASTON. *Improved periscopic spectacles.* Phil. Mag. XVII. — Nicholson's Journ. VII. S. 143, 241.

1515. JONES. *On Wollaston's spectacles.* Nicholson's Journ. VII. S. 192 u. VIII. S. 38.

1821.

1516. G. TAUBER. *Anweisung für auswärtige Personen, wie dieselben aus dem optisch-oculistischen Institute zu Leipzig Augengläser bekommen können.* Leipzig. 3. Aufl.

1824.

1517. MUNCKE. *Ueber Sehen unter Wasser.* Pogg. Ann. II. S. 257.

1825.

1518. PURKINJE. *Zur Physiologie der Sinne.* II. S. 128*.

1828.

1519. MUNCKE. Art. *Gesicht.* Gehler's phys. Wörterbuch, neu bearb. Leipzig. S. 1383 bis 1386* und S. 1403—1410.

1830.

1520. HOLKE. *Disquisitio de acie oculi dextri et sinistri in mille ducentis hominibus.* Lipsiae.

1837.

1521. J. Mile. Pogg. Ann. XLII. S. 51*.

1840.

1522. Henle. J. Müller's Lehrb. d. Physiol. Bd. II. S. 339—341*.

1845.

1523. O. *Youngs Optometer.* Phil. Mag. XXVI. S. 436.

1848.

1524. F. C. Donders. *Een woord over de aanwendingswijze der proef van Sanson.* Ne Lancet. S. 211. 1848/1849.

1850.

1525. J. Czermak. Verh. d. Würzburger phys. Ges. Bd. I. S. 184.

1851.

1526. Peytal. *Nouvel instrument à l'usage de la vue myope.* Institut. No. 841. S. 5 No. 857. S. 180.

1527. H. Mayer. Prag. Vierteljahrsschr. f. prakt. Heilkd. XXXII. S. 92*.

1528. v. Hasner. Prag. Vierteljahrsschr. f. prakt. Heilkd. XXXII. S. 166. (Optomete

1852.

1529. Th. Ruete. *Der Augenspiegel und das Optometer.* Göttingen. S. 28*.

2. Gröfse und Form der Zerstreuungskreise.

Hier ist auch ein Theil der Litteratur von § 18. 3 zu beachten.

1854.

1530. J. Czermak. *Ueber die Wirkung punktförmiger Diaphragmen auf das Sehen.* Wie Ber. XII. S. 333.

1531. — *Eine Modification des Scheiner'schen Versuches.* Wien. Ber. XII. S. 366.

1532. H. von Wyngaarden. *Ueber die Anwendung der von Donders entdeckten ste päischen Brillen zur Verbesserung des Sehvermögens bei Trübungen der Hornha* Arch. f. Ophthalm. (I.) 1. S. 251.

1855.

1533. J. Czermak. *Ueber die Wirkung punktförmiger Diaphragmen auf das Sehen.* Wie Ber. XV. S. 428.

1534. — *Eine Modification eines Scheiner'schen Versuches.* Wien. Ber. XV. S. 457.

1872.

1535. Woinow. *Zur Lehre über den Einflufs der optischen Gläser auf die Sehschär* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 349.

1874.

1536. A. Schmithausen. *Ueber das Sehen der Myopen mittelst Zerstreuungskrei* Greifswald.

1876.

1537. Badal. *Mesure du diamètre de la pupille et des cercles de diffusion.* Gaz. des Hô No. 57.

1538. — *Contribution à l'étude de l'accommodation de l'oeil aux distances. Mesure d cercles de diffusion.* Gaz. méd. de Paris. No. 20.

1877.

1539. Badal. *Mesure du diamètre de la pupille et des cercles de diffusion.* Bull. me de la clin. du Dr. Badal. Paris. Delahaye. S. 28—31.

1878.

1540. Fano. *Rôle de la rétine dans la vision des objets rapprochés ou éloignés.* Com Rend. Bd. 86. S. 689.

1880.

1541. Badal. *Études d'optique-physiologique; influence du diamètre de la pupille et d cercles de diffusion sur l'acuité visuelle.* Ann. d'Ocul. Bd. 83. S. 21—40. S. 103—1 S. 205—214. — Mém. de la Soc. d. sc. phys. et nat. de Bordeaux. (2.) IV. 1.

1882.

1542. Prompt. *De l'expérience de Scheiner.* Ass. franç. pour l'avanc. des sc. R d'Ophthalm. S. 630.

1543. V. Schulek. *Die optischen Verhältnisse bei Doppelpupillen.* Graefe's Arch. Ophthalm. XXVIII. (3.) S. 128.

1883.

1544. C. J. A. Leroy. *Quelques considérations sur les variations du diamètre de l'image sensible d'un point lumineux.* Arch. d'Ophtalm. S. 245.

1884.

1545. J. W. Barret. *A new method of demonstrating Scheiner's experiment.* Journ. of anat. a. physiol. XIX. S. 97.

1546. Bertrand. *Expériences sur la myopie et la pupille artificielle.* Ann. d'Ocul. Bd. 91. S. 32.

1885.

1547. D. Kokèmüller. *Ueber eine interessante optische Erscheinung.* Wochenschr. f. Astron. Meteorol. u. Geogr. 28. Jahrg. S. 305. (Lecat'scher Versuch.)

1548. Weidlich. *Die quantitativen Beziehungen zwischen der Pupillenverengung und der scheinbaren Abnahme der Kurzsichtigkeit.* Arch. f. Augenheilkde. XV. S. 175.

1888.

1549. D. Axenfeld. *Percezione subbiettiva dei movimenti dell' iride.* Bull. d. r. Accad. med. di Roma. 1887/88. IX. S. 122.

1889.

1550. R. Hilbert. *Eine Modification des Scheiner'schen Versuches.* Betz' Memorabilien. Heft 5.

1551. Laqueur. *Ueber eine eigenthümliche Art von Gesichtswahrnehmungen.* Centralbl. f. med. Wiss. No. 42.

1890.

1552. L. Laqueur. *Ueber pseudentoptische Gesichtswahrnehmungen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. Abth. 1. S. 62—82.

1553. G. Wallenberg. *Der „Le Cat'sche Versuch" und die Erzeugung farbiger Schatten auf der Netzhaut.* Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 48. S. 537—543.

1891.

1554. L. Chabry. *Des images diffuses résultantes de la vision non accommodée. Diplopie monoculaire.* Compt. Rend. de la Soc. Biol. (9.) III. 2. S. 36—37.

1555. R. Hilbert. *Pupillenbeobachtungen mittels der subjectiven Methode.* Betz' Memorabilien. H. 5.

1892.

1556. A. Szili. *Optische Verwerthung von Brillenglasreflexen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 38. (4.) S. 12—18.

1893.

1557. A. Roth. *Ueber eine neue stenopäische Brille (Siebbrille).* Vorläuf. Mitth. Arch. f. Augenheilkde. XXVII. S. 120—112.

1558. M. Salzmann. *Das Sehen in Zerstreuungskreisen.* I. Th. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIX. 2. S. 83—129.

1894.

1559. J. Hirschberg. *Ein Fall von einäugigem Doppeltsehen durch Doppelpupille.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XVIII. S. 355—357.

1560. R. Katz. *Des cercles de diffusion et du trou sténopéique.* Wiestn. ophthalm. Mai-Juni 1894.

1561. O. Landmann. *Monocular polyopia. Two cases.* Ann. of Ophthalm. and Otol. Vol. III. S. 18.

1562. M. Salzmann. *Das Sehen in Zerstreuungskreisen.* II. Th. Graefe's Arch. f. Ophtalm. XL. (5.) S. 102—159.

1563. H. Triepel. *Ueber Sehleistung bei Myopie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XL. (5.) S. 50—101.

3. Allgemeines über Refraction und Accommodation.

1854.

1564. A. Smee. *The eye in health and disease.* London.

1860.

1565. F. C. Donders. *Ametropie en hare gevolgen.* Verslag Ned. Gasth. v. Oogl. No. 1. S. 63.

1861.

1566. F. C. Donders. *Het lichtbrekend stelsel van het menschelijk oog in gezonden e ziekelijken toestand.* Verslag ned. Gasth. No. 2. S. 25.

1863.

1567. F. C. Donders. *Kort begrip der refractie-anomalien en hare gevolgen.* Versl. Ned Gasth. v. Oogl. No. 4 S. 53.

1864.

1568. F. C. Donders. *Het zien bij verschil in refractie der beide oogen en de hulpmiddele daarbij aan te wenden.* Versl. Ned. Gasth. v. Oogl. No. 5. S. 167. 1866. — Ned. Arcl v. Gen. en Naturk. II. S. 112.

1569. — *Die Refractionsanomalien und ihre Folgen.* Arch. f. d. holl. Beitr. zur Nat.- u Heilkde. III. S. 327.

1865.

1570. Giraud-Teulon. *Applications de la règle à calcul de E. Javal aux opération à exécuter sur la réfraction.* Ann. d'Ocul. LIV. S. 181.

1866.

1571. F. C. Donders. *Die Anomalien der Refraction und Accommodation des Auge* Deutsch von O. Becker. Wien.

1572. A. Nagel. *Die Refractions- und Accommodationsanomalien des Auges.* Tübinger

1573. R. Schirmer. *Die Lehre von den Refractions- und Accommodationsstörungen de Auges.* Berlin.

1574. W. Zehender. *Die Accommodations- und Refractionsanomalien.* Klin. Mon.-Bl. IV S. 279.

1867.

1575. H. Kaiser. *Die nächsten Ursachen der Anisometropie in optischer Hinsicht.* Arcl f. Ophthalm. XIII. 2. S. 361.

1868.

1576. W. Dobrowolsky. *Myopie, ihre Complication mit Accommodationskrampf.* Klir Monatsbl. f. Augenhlk. Aufserordentl. Beilageh. S. 1—93.

1577. J. Z. Laurence. *Die optischen Fehler des Auges mit ihren Folgen Astenopie un Strabismus.* Aus d. Engl. übersetzt u. mit Zusätzen versehen v. A. Karst. Kreuznacl

1578. H. Scheffler. *Theorie der Augenfehler und der Brille.* Wien.

1869.

1579. Giraud-Teulon. *De l'influence des lentilles.* Ann. d'Ocul. LXII. S. 93.

1580. E. Grether. *Kurze practische Bemerkungen über Accommodations- und Refraction anomalien.* Würzburg.

1581. Laqueur. *Sur les changements brusques de la réfraction de l'œil.* Ann. d'Ocu LXI. S. 205.

1582. Ed. Meyer. *Leçons sur la réfraction et l'accommodation.* Paris.

1583. A. Schumann. *Experimentaluntersuchung über die Baufehler und Accommodation störungen des menschlichen Auges.* Leipzig.

1872.

1584. F. C. Donders. *Praktische opmerkingen over den invloed van hulplenzen op d gezichtsscherpte.* Onderzoek. ged. in het Phys. Labor. Utrecht.

1585. — *Praktische Bemerkungen über den Einflufs von Hülfslinsen auf die Sehschärf* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (2.) S. 245.

1586. H. Schmidt. *Kurze Anleitung zur Untersuchung der Refraction, Accommodatio und Sehschärfe.* Marburg.

1873.

1587. C. S. Fenner. *A treatise on the diseases of refraction and accommodation.* Louisvill

1874.

1588. H. Snellen u. E. Landolt. *Ophthalmometrologie. Die Functionsprüfungen de Auges.* Aus v. Graefe u. Sämisch's Handb. d. ges. Augenheilkde. III. Bd. 1 S. 1—249.

1875.

1589. J. Stilling. *Ueber typischen Accommodationskrampf.* Klin. Mon.-Bl. f. Augen heilkde. XIII. S. 5—30.

1876.

1590. E. Emmert. *Ueber Refractions- und Accommodationsverhältnisse des menschlich Auges nach eigenen Untersuchungen.* Bern. Haller.

1877.

1591. E. Adamük. *Anomalien der Refraction und Accommodation.* Ophthalm. Beob. d. Kl. d. Univ. Kasan. II. 1. 112 S.

1592. R. B. Carter. *On defects of vision which are remediable by optical appliances* Med. Times and Gaz. II. No. 1410—1421.

1593. — *On Defects of Vision.* London. 145 S.

1594. J. Gard. *De la réfraction oculaire et de l'anisométropie.* Paris, Delahaye.

1595. Ch. Higgens. *Lectures on the Anomalies of Refraction and Accommodation etc.* Med. Times and Gaz. 16. u. 23. Decbr. 1876, 27. Jan., 10. Febr. 1877.

1878.

1596. Badal. *Conférences d'optométrie. (Réfraction, Accommodation, Acuité visuelle etc.)* Gaz. des Hôp. No. 15, 19, 53, 73, 89, 105.

1597. — *Études d'optique physiologique.* Ann. d'Ocul. T. 80. S. 42—56.

1598. L. Weiss. *Ueber die Refractionsveränderung, welche bei Accommodationslähmung beobachtet wird.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIV. 2. S. 190—212.

1879.

1599. E. Javal. *Les maladies de l'oeil et l'emploi des lunettes.* Rev. Scient. (2.) IX. No. 13. S. 306—310.

1600. E. Landolt. *A Manual of Examination of the Eyes.* Englisch v. Burnett. London. Baillière. Philadelphia. Brinton.

1601. L. Mauthner. *Die Functionsprüfungen des Auges.* (Heft 3, 4 u. 5 d. Vortr. a. d. Gesammtgeb. d. Augenheilkde.) Wiesbaden. Bergmann.

1602. E. Netoliczka. *Untersuchungen über Farbenblindheit und Kurzsichtigkeit.* I. 28. Jahresbericht d. steiermärk. Landes-Ober-Realschule. Graz.

1603. G. Sous. *Traité d'optique consid éréedans ses rapports avec l'examen de l'œil.* Paris. Doin. 362 S.

1880.

1604. Badal. *Étude d'optique physiologique.* Arch. d'Ophthalm. I. S. 58. — Ann. d'Ocul. Bd. 84. S. 217.

1605. Emmert. *Auge und Schädel; Untersuchungen über Refraction, Accommodation der Augen und Bewegungs-Mechanismus des Auges.* Berlin. Hirschwald.

1606. A. Nagel. *Die Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges.* Graefe's u. Saemisch's Handb. d. ges. Augenheilkde. VI. Kap. X. S. 258—503.

1607. E. Netoliczka. *Untersuchungen über Farbenblindheit und Kurzsichtigkeit.* II. 29. Jahresber. d. steiermärk. Landes-Ober-Realschule. Graz.

1608. H. Schmidt-Rimpler. *Emmetropie.* Eulenburg's Real-Encykl. f. d. ges. Heilkde. IV. S. 507.

1609. Sczelkow. *Zur Frage über die Veränderungen der Hornhautkrümmungen bei zunehmendem Alter.* Centralbl. f. d med. Wiss. XVIII. No. 44. S. 819.

1610. H. Snellen u. E. Landolt. *Ophthalmométrologie. Traité complet d'ophthalmologie par L. de Wecker et E. Landolt.* I. 2. Theil. Paris. Delahaye. 1892. 292 S.

1881.

1611. A. Charpentier. *Examen de la vision au point de la médecine générale.* Bibl. biol. internat. IV. 137 S. Paris. Doin.

1612. Giraud-Teulon. *La vision et ses anomalies.* Paris. Baillière. 936 S.

1613. A. v. Reuss. *Untersuchungen über den Einfluſs des Lebensalters auf die Krümmung der Hornhaut nebst einigen Bemerkungen über die Dimensionen der Lidspalte.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (1.) S. 27.

1614. G. Sous. *Traité d'optique considérée dans ses rapports avec d'examen de l'œil.* 2. édit. Paris. Doin. 512 S.

1882.

1615. H. Culbertson. *Refraction of the eye, as distinguished from accommodation and estimated as an equivalent, from the index of refraction.* Cinc. Lancet u. Clinic. VIII S. 451.

1616. E. H. Fravel. *Anomalies of refraction.* Gaillard's Med. Journ. New-York. XXXII. S. 442.

1617. A. Leroy. *Clinique ophtalmologique de la faculté de médecine de Lyon. Optique physiologique, vision centrale, irradiation et acuité visuelle.* Arch. d'ophthalm. S. 22, 348, 441.

1618. J. Masselon. *Examen fonctionnel de l'oeil.* Paris. Doin.

1619. F. G. Perez. *Anomalias de la refraction visual.* Gac. de sanid. mil. Madrid. VIII S. 349, 410.

1620. Roberts. *Examen de la vision practicado en las escuelas de la Ciudad de Buenos Aires.* Buenos-Aires.

1883.

1621. Chauvel. *Précis théorique et pratique de l'examen de l'œil et de la vision* Paris. 431 S.

1622. E. Cheuvreul. *Précis historique et pratique de l'examen de l'œil et de la vision* Paris. Masson. 150 S.

1623. L. Königstein. *Die Anomalien der Refraction und Accommodation.* Wien. 69 S

1624. Leduc. *Contribution à l'étude de l'anisometropie.* Paris. 42 S.

1625. J. Neuschüler. *Occhio ed occhiali.* Turin. 104 S.

1884.

1626. J. Albertotti. *Preliminari di studi sperimentali diretti a stabilire sopra nuov principio l'esame funzionale dell' occhio.* Gior. d. r. Accad. di med. di Torino. 3. s XXXII. S. 162.

1627. Culbertson. *A comparison of total and manifest hypermetropia as determined b the presoptometre with and without the use of mydriatics.* New York. med. Journ 22 march.

1628. Fuchs. *Beiträge zu den Anomalien der Refraction und Accommodation.* Klin Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 14.

1629. R. Maddox. *On distant vision.* Proc. of the Royal Soc. of London. 21. Januar XII. S. 433.

1886.

1630. C. M. Culver. *The refraction and accommodation of the eye and their anomalie by Landolt.* Edinburgh. 597 S.

1631. E. H. Fravel. *Anomalies of refraction.* Cinc. Lancet u. Clinic. XVII. S. 179.

1632. G. T. Helm. *Short sight, long sight and astigmatism.* London, Churchill.

1887.

1633. A. Imbert. *Les anomalies de la vision.* Gaz. hebdom. d. sc. méd. de Montpellier IX. S. 78, 92, 113, 126.

1888.

1634. A. Imbert. *Les anomalies de la vision. Avec une introduction par E. Javal.* Paris Baillière et fils.

1889.

1635. P. Smith. *On the size of the cornea in relation to age, sex, refraction and primary glaucoma.* Opht. Rev. S. 380. — Trans. of the Ophthalm. Soc. X. S. 68.

1636. F. Valk. *Lectures on the errors of refraction and their correction with glasses* New-York.

1890.

1637. Lagrange. *Leçons sur les anomalies de la réfraction et de l'accommodation, suivie de l'examen du sens chromatique et du champ visuel.* Paris. Steinheil.

1638. J. Masselon. *Examen fonctionnel de l'œil.* Paris. Doin. 2. édit.

1639. A. Randall. *Some disputed points in the correction of refraction errors.* Journ of the Americ. med. Assoc. — Americ. Journ. of Ophthalm. VIII. No. 1. S. 38. *glaucoma.* Trans. of the Ophthalm. Soc. X. 1889/90. S. 68.

1891.

1640. K. Hoor. *Gemeinfaſsliche Darstellung der Refractions-Anomalien.* Gekr. Preisschi Wien. Hölder. 86 S.

1641. J. Schiötz. *Öjets refractionsziutande, en vejledning for medicinske studerende.* (*Di Refractionszustände des Auges, ein Leitfaden für Studirende.*) Christiania.

1892.

1642. Herrnheiser. *Die Refractionsentwickelung des menschlichen Auges.* Prag. med Wochenschr. No. 19 u. 20. — Sep. Berlin. Fischer. 36 S. — Zeitschr. f. Heilkde XIII. S. 342.

1893.

1643. H. Bertin-Sans. *Les variations que subissent sous l'influence de l'âge les rayons d courbure du cristallin.* Arch. d'Ophtalm. XIII. S. 240—244.

1644. H. Schiess. *Kurzer Leitfaden der Refractions- und Accommodationsanomalien* Wiesbaden. Bergmann. 69 S. mit 30 Abbild.

1894.

1645. Cl. du Bois-Reymond. *Über die latente Hypermetropie.* Zeitschr. f. Psychol. VIII. S. 34—43.

1646. Chauvel. *Études ophthalmoscopiques. Hypermétropie.* Rec. d'Ophthalm. S. 573.

1647. A. Graefe. *Accommodation und Convergenz.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XL. (5.) S. 247—252.

1648. L. Königstein. *Die Anomalien der Refraction und Accommodation.* 2. Aufl. Wien. W. Braumüller. 102 S.

1649 Th. Young. *Oeuvres ophthalmologiques.* Französisch von Tscherning. Kopenhagen, Höst u. Sön. 248 S.

4. Accommodationsbreite.

1854.

1650. J. Czermak. *Von den Accommodationslinien.* Wien. Ber. Bd. XII. S. 322.

1651. — *Ueber den Zusammenhang zwischen der Convergenz der Augenaxen und dem Accommodationszustand der Augen.* Wien. Ber. Bd. XII. S. 339.

1855.

1652. Stellwag v. Carion. *Die Accommodationsfehler des Auges.* Wien. Sitzgs.-Ber. XVI. S. 187.

1653. J. Czermak. *Accommodationslinien.* Wien. Ber. Bd. XV. S. 425, 457.

1654. — *Ueber den Zusammenhang zwischen der Convergenz der Augenaxen und der Accommodation.* Wien. Ber. Bd. XV. S. 438.

1856.

1655. A. v. Graefe. *Ueber Myopia in distans nebst Betrachtungen über das Sehen jenseits der Grenzen unserer Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. II. 1. S. 158—186.

1857.

1656. J. J. Oppel. *Ueber das Sehen durch kleine Oeffnungen und das Gerham'sche Diaskop.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1856—1857 S. 37—42.

1858.

1657. F. C. Donders. *Winke, betr. den Gebrauch und die Wahl der Brillen.* Arch. f. Ophthalm. IV. 1. S. 286—300.

1658. Th. H. Mac-Gillavry. *De oculi accommodationis quantitate disquisitiones.* Utrecht.

1859.

1659. M. Mac-Gillavry. *Onderzoekingen over de hoegrootheid der accommodatie.* Diss. Utrecht. 1858. — Henle u. Pfeufer's Zeitschr. f. rat. Med. (3.) VI. S. 612—613.

1860.

1660. F. C. Donders. *Beiträge zur Kenntnifs der Refractions- und Accommodationsanomalien.* Arch. f. Ophthalm. VI. 1. S. 62—105. VI. 2. S. 210—283. VII. 1. S. 155—204. — Verslagen en Mededeelingen der K. Acad. Amsterdam. 1861. S. 159 bis 201. — Jaarlijksch Verslag betrekkelijk het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders. I. S. 63—205. II. S. 25—68. IV. S. 1—118.

1661. C. Landsberg. *Beschreibung eines neuen Optometers und Ophthalmodiastometers.* Pogg. Ann. CX. S. 435—452. — Polytechn. Centralbl. S. 405—406.

1662. A. Burow. *Ueber den Einflufs peripherischer Netzhautparthien auf die Regelung der accommodativen Bewegungen des Auges.* Arch. f. Ophthalm. VI. (1.) S. 106—110.

1861.

1663. Ch. Aeby. *Die Accommodationsgeschwindigkeit des menschlichen Auges.* Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. (3.) XI. S. 300—304.

1664. Giraud-Teulon. *Des mouvements de décentration latérale de l'appareil cristallin.* Compt. Rend. LII. S. 383—385. — Institut. S. 82. — Cosmos. XVIII. S. 284—286.

1665. H. Dor. *Des différences individuelles de la réfraction de l'œil.* Journ. de la physiol. XI. XII. — Arch. d. sc. phys. (2.) X. S. 82—85.

1666. H. de Brieder. *De stoornissen der accommodatie van het oog.* Diss. Utrecht. — Jaarlijksch Verslag betr. het Nederl. Gasthuis. II. S. 69—142.

1667. v. Jaeger jun. *Ueber die Einstellungen des dioptrischen Apparates im menschlichen Auge.* Wien. 1861.

1668. Stellwag v. Carion. *Zur Litteratur der Refractions- und Accommodationsanomalien.* Zeitschr. d. K. K. Ges. d. Aerzte. 1861.

1863.

1669. F. C. Donders. *De formule der accommodatiebreedte, getoetst aan de inwendige veranderingen van het oog.* Versl. Ned. Gasth. v. Oogl. No. 4. S. 105.

1867.

1670. H. Kaiser. *Die nächsten Ursachen der Anisometropie in optischer Hinsicht.* Arch. f. Ophthalm. XIII. 2. S. 361.

1671. E. G. Loring. *Sur l'accommodation relative.* Compt. Rend. 4 et 5. Sess. annuelle. New York. Juni.

1868.

1672. H. Dor. *Ueber einen aufsergewöhnlichen Fall von Lähmung der Accommodation.* Bern. Mitth. S. 24—25.

1869.

1673. R. Schirmer. *Ueber das Accommodationsverhältnifs bei verschiedenen Blickhöhen.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. VII. S. 405.

1870.

1674. E. Adamück und M. Woinow. *Zur Frage über die Accommodation der Presbyopen.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 144.

1675. Schneller. *Beiträge zur Lehre von der Accommodation und Refraction.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 176.

1875.

1676. J. v. Hasner. *Ueber die Accommodationseinheit.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XIII. S. 1—4 u. 88—90. — Aerztl. Corresp.-Bl. f. Böhmen. II. S. 419.

1677. — *Die Accommodationshyperbel.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XIII. S. 289—293.

1678. — *Ueber die Grenzen der Accommodation des Auges.* Prag. Calve. 32 S.

1876.

1679. W. Doerinkel. *Ueber die Abnahme der Accommodationsbreite in verschiedenen Stadien der Presbyopie.* Marburg.

1877.

1680. L. Happe. *Ueber v. Hasner's Accommodationseinheit und den Ort des Punktes Null für maximale (∞) Accommodation.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 77—99 u. S. 101—105.

1681. — *Ueber das Maafs der Accommodation.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 198—200.

1682. v. Hasner. *Ueber die Grenzen der Accommodation.* Prag. med. Wochenschr. 1877. No. 8.

1683. — *Ueber den Accommodationsaufwand.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 146 bis 148.

1684. — *Schlufswort zur Accommodationseinheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 200 bis 201.

1685. Th. Rumpf. *Zur Lehre von der binocularen Accommodation.* Inaug.-Diss. Heidelberg. Beil.-Hft. z. d. Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XV.

1879.

1686. Szokalski. *Das Verschwinden der Presbyopie im hohen Alter.* Medycyna. 1879.

1880.

1687. H. Biesinger. *Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Accommodation und Convergenz der Blicklinien.* Mitth. a. d. ophthalm. Klinik z. Tübingen. 1880. Heft 1. — Inaug.-Diss. Tübingen. 1879.

1688. Hällstén. *Die dioptrische Fähigkeit in centrirten Systemen mit besonderer Rücksicht auf die dioptrische Fähigkeit und die Accommodationsbreite des Auges.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. 1880. Heft 1 u. 2.

1883.

1689. Leduc. *Contribution à l'étude de l'anisometropie.* Paris. 1883. 42 S.

1884.

1690. O. Beselin. *Untersuchungen über Refraction und Grundlinie der Augen und über die dynamischen Verhältnisse der lateral wirkenden Augenmuskeln an Mädchen von 5—18 Jahren.* Diss. Heidelberg. — Arch. f. Augenheilkde. XIV. S. 132.

1691. C. Reymond. *Modificazione all' esame degli equilibrii muscolari e leggi del rapporto tra l'accommodazione e la convergenza oculare.* Ann. di Ottalm. XIII. 2. S. 136 — Giorn. d. r. Accad. di med. di Torino. XII. S. 69.

1885.

1692. Imbert. *Sur le choix des verres de lunette et sur la variation du pouvoir accommodatif avec l'âge.* Gaz. hebdom. d. sc. méd. de Montpellier. VII. S. 197.

1693. C. Reymond. *Sui rapporti dell' accommodamento colla convergenza.* Atti d. r. Accad. di med. di Torino. VI.

1886.

1694. Giovanni. *Accommodation und Convergenz.* Ann. di Ottalm.

1695. E. Maddox. *Investigation in the relation between convergence and accommodation.* Journ. of anat. XX. u. XXI., u. Ophthalm. Rev. S. 341.

1696. Ch. A. Oliver. *A new series of metric test-lettres and words for determining the amount and range of accommodation.* Transact. of the americ. ophthalm. soc. 22 Meeting. S. 217.

1697. — *Metric test types for determining the amount of accommodation.* Ophthalm. Rev. S. 272.

1698. G. Secondi. *Osservazioni sul rapporto tra l'accommodazione e la convergenza.* Giorn. d. r. Accad. di med. di Torino. XXXIV. S. 714.

1887.

1699. A. E. Fick. *Ueber binoculare Accommodation.* Corresp.-Bl. f. schweiz. Aerzte. XVII.

1700. G. Secondi. *Osservazioni sul rapporto tra l'accommodazione e la convergenze.* Ann. di Ottalm. XV. S. 485.

1888.

1701. A. E. Fick. *Ueber ungleiche Accommodation bei Gesunden und Anisometropen.* Arch. f. Augenheilkde. XIX. S. 123.

1702. — *Ueber die Accommodation der Anisometropen.* Ber. d. 7. internat. Ophthalm.-Congr. z. Heidelberg. S. 451.

1703. J. Ramis. *Consideraciones de dióptrica fisiológica sobre el punto próximo, el punto remoto y la amplitud de la accommodación.* Rev. méd. de México. I. S. 44.

1704. Schneller. *Ueber Veränderungen der Formen des Auges bei Convergenz der Sehaxen und gesenkter Blickebene.* Ber. d. 7. internat. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 328.

1705. G. Secondi. *Sul rapporto tra l'accommodazione e la convergenze.* R. Accad. Med. di Roma. XIII.

1889.

1706. R. und A. Ahrens. *Neue Versuche über anisomorphe Accommodation.* Bevorwortet von W. v. Zehender. Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXVII. S. 291.

1707. C. Hess. *Versuche über die angebliche ungleiche Accommodation bei Gesunden und Anisometropen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (1.) S. 157—171.

1708. Pereles, (nach Untersuchungen von F. Halsch und H. Pereles). *Ueber die relative Accommodationsbreite.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (4.) S. 84—115.

1709. A. Randall. *Model to demonstrate the relations of accommodation and convergence.* Ophthalm. Rev. S. 134—137.

1891.

1710. Berry. *On some points with reference to the connection between accommodation and convergence.* Brit. med. Journ. No. 1571. S. 287.

1711. R. Greeff. *Zur Vergleichung der Accommodationsleistung beider Augen.* Arch. f. Augenheilkde. XXIII. S. 371—386.

1712. G. Secondi. *Ueber die synergische Verbindung von Accommodation und Convergenz.* Ann. di Ottalm. Fac. 1 u. 2.

1892.

1713. G. van Eijsselsteijn. *Over de accommodatie en convergentie bij zijdelingschen Blick.* Diss. Utrecht 1891. — Versl. Ned. Gasth. voor Oogl. 1892.

1714. A. E. Fick. *Noch einmal die ungleiche Accommodation.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 38. S. 204—220.

1715. C. Hess und F. Neumann. *Messende Versuche zur Frage nach dem Vorkommen ungleicher Accommodation beim Gesunden.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 38. S. 184—190.

1716. C. Hess. *Kritik der neueren Versuche zur Frage nach dem Vorkommen ungleicher Accommodation.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 38. S. 169—183.

1717. A. Percival. *The relation of convergence to accommodation and its practical bearing.* Ophthalm. Rev. No. 133. S. 313.

1718. H. Snellen. *Ueber Beschränkung der Convergenz und der Accommodation bei seitlichem Blick.* Ber. üb. d. XXI. Vers. d. Ophthalm. Ges. S. 113.

1893.

1719. K. Fischer. *Ueber die Beziehungen zwischen der Accommodation und der Convergenz der Blicklinien.* Diss. Halle. 1893. 99 S.

1720. Oliver. *A new series of test words for the determination of the power of accommodation.* Arch. of Ophthalm. XXII. S. 347—348.

1721. Savage. *Relationship between the centres of accommodation and convergence.* Ophthalm. Record. Mai.

1894.

1722. J. Kaufmann. *Die absolute und relative Accommodationsbreite in den verschiedensten Lebensaltern.* Diss. Göttingen. 29 S.

5. Optometrie, Optometer und Phakometer.

Hier ist auch die Litteratur von § 18. 3 zu beachten.

1862.

1723. de Haas. *Geschiedkundig onderzoek omtrent de Hypermetropia en hare gevolgen.* Diss. Utrecht. — Jaarl. Versl. betr. het Nederl. Gasth. voor Oog. III. S. 157—208.

1863.

1724. A. Burow. *Vorläufige Notiz über die Construction eines neuen Optometers.* Arch. f. Ophthalm. IX. (2) S., 228—231.

1725. — *Ein neues Optometer.* Berlin. 1863.

1726. A. v. Graefe. *Ein Optometer.* Dtsch. Klin. 1863. S. 10.

1864.

1727. A. Burow. *Ueber die Reihenfolge der Brillenbrennweiten.* Berlin.

1728. F. C. Donders. *On the anomalies of accommodation and refraction of the eye.* London.

1866.

1729. J. W. Verschoor. *Optometers en Optometrie.* Zesde Jaarl. Verslag van het Nederl. Gasthuis. voor Oogl. S. 97—160.

1867.

1730. A. Burow. *Ein vereinfachtes Verfahren bei Bestimmung der Brillen.* Berl. Klin. Wochenschr. VII. 10. März.

1869.

1731. J. C. Douglas. *On shadow optometers.* Phil. Mag. (4.) XXXVII. S. 340—343.

1732. M. Perrin et Mascart. *Mémoire sur un nouvel optomètre destiné à faire reconnaître et à mesurer tous les vices de la refraction de l'oeil.* Ann. d'Ocul. Bd. 61. S. 5—16.

1870.

1733. J. C. Douglas. *Reply to Mr. Templetons remarks suggested by Mr. Douglas' account of a new Optometer.* Phil. Mag. Vol. 40. S. 340—344.

1734. R. Templeton. *Remarks suggested by Mr. Douglas' account of a new optometer.* Phil. Mag. Vol. 39. S. 9.

1735. W. M. Thomson. *An additional method to determine the degree of Ametropia.* Amer. Journ. of the med. sc. Januar.

1873.

1736. Laidlaw Purves. *Eine Methode zur Bestimmung der Refractionsanomalien.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 89—100.

1874.

1737. H. Snellen u. E. Landolt. *Die Functionsprüfungen des Auges.* Gräfe-Sämisch Handb. d. ges. Augenheilkde. III. Cap. I. Leipzig.

1875.

1738. Ch. Jeaffreson. *On Laidlaw Purves' Optometer.* Brit. med. Journ. 30. Jan.

1739. W. L. Purves. *On determination of the refraction of the eye.* Brit. med. Journ. 26. Januar.

1740. — *On a new optometer.* Brit. med. Journ. 27. Februar.

1741. Risley. *New optometer for measuring the anomalies of refraction and the field of vision.* Amer. Journ. of the med. sc. Bd. 140. S. 449.

1742. L. v. Wecker. *Optometer und Optometerspiegel.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XIII. S. 458—465.

1876.

1743. Badal. *Nouvel optomètre donnant, à la fois et dans une seule opération, la mesure de la réfraction oculaire et celle de l'acuité visuelle.* Ann. d'Ocul. LXXV. S. 5—13. — Gaz. hebd. S. 137—138. — Gaz. méd. de Paris. S. 547—549.

1744. Goedicke. *Neues Optometer.* Dtsch. milit.-ärztl. Zeitschr. No. 8 u. 9.

1745. H. Snellen. *Das Phakometer zur Bestimmung von Focus und Centrum der Brillengläser.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XIV. S. 363—366. — Maandbl. voor Natuurw. VII. S. 23—27. — XVII jaarl. Vers. van het Nederl. Gasthuis etc. S. 204—211.

1746. C. W. Zenger. *Neues Optometer mit doppeltbrechender Linse von Kalkspath, welches doppelte Leseproben giebt und gröfsere Präcision in Bestimmung der Sehdistanz gewährt.* Catal. of the Spec. Loan Coll. of Scient. Appar. London. 1876. I. S. 131. No. 894.

1877.

1747. Badal. *Leçons pratiques d'optométrie.* Bull. mens. de la clin. du Dr. B. Paris. Delahaye. S. 65—71, 76—79, 83—95.

1748. — *Optomètre métrique international.* Bull. mens. de la clinique du Dr. B. Paris. Delahaye. S. 17—23.

1749. M. Burchardt. *Ueber objective Bestimmung der Sehweite in Centimetern und in Dioptrien.* Dtsch. med. Wochenschr. 1877. No. 13.

1750. — *Ueber subjective Bestimmung der Sehweite durch Linsen, welche sich im Brennpunktsabstande von dem Auge befinden.* Dtsch. med. Wochenschr. III. No. 21.

1751. — *Ueber Bestimmung der Sehweite und der Sehschärfe durch Linsen, die sich im Brennpunktsabstande vor dem Auge befinden.* Dtsch. med. Wochenschr. 1877. No. 45.

1752. F. C. Donders. *Ein pankratisches Fernrohr.* (Nebst einer Nachschrift.) Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (4.) S. 269—281. — XVIII. j. Versl. Nederl. gasth. etc. S. 51—62, 87—90. — Utrecht'sche Onderzoek. 3 recks. V. S. 1—12, 67—72. — K. Acad. v. Wetensch. te Amsterdam. Proc.-verb. 1877/78. No. 2. S. 3—7. — Centr.-Bl. f. pract. Augenheilkde. Beilageh. S. 24. — D. Zeitschr. f. pract. Med. S. 428. — Beil. z. d. Klin. Monatsbl. f. Augenhlkd. XV. S. 143—145.

1753. E. Dubois. *Note sur l'emploi et la choix des lunettes destinées à corriger les mauvaises vues.* Journ. de phys. VI. S. 28—29.

1754. J. Hirschberg. *Ueber Refractionsmessung und über ein neues Optometer.* Berl klin. Wochenschr. XIV. S. 151. — Hirschberg's Beitr. z. prakt. Augenheilkde. II. Heft S. 4—24.

1878.

1755. H. Armaignac. *Traité élement. d'Ophtalmoscopie, d'Optometrie et de Refraction oculaire.* Paris, Delahaye. 463 S.

1756. Badal. *Phacomètre.* Ann. d'Ocul. Bd. 79. S. 20—32.

1757. Loiseau. *Optomètre métrique et phacomètre.* Arch. méd. belg. Mai. — Bull. de l'acad. Roy. de Méd. Belg. (3.) XII. 8. S. 736—752. — Ann. d'Ocul. Bd. 80. S. 5.

1758. J. A. C. Oudemans. *Théorie de la lunette pancratique de M. Donders.* Arch. Néerl. XIII. S. 110—140.

1759. Rüppel. *Eine Bemerkung über das Badal-Burchardt'sche Optometer.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 53.

1760. E. Warlomont. *Sur l'optomètre métrique et phacomètre du docteur Loiseau.* Bull. de l'acad. roy. de Méd. de Belg. (3.) XII. S. 672—686. — Presse Méd. XXX. No. 37, 38.

1879.

1761. Loiseau. *Note sur un nouveau modèle de l'optomètre métrique et du phacomètre portatif.* Ann. d'Ocul. Jan.-Febr.

1762. Prompt. *Procédé optométrique.* Soc. de Biol. 26. April.

1763. Thomson. *A practical and rapid method, with an instrument for the diagnosis of the refraction.* Transact. of the Americ. ophth. Soc.

1764. Warlomont. *Rapports sur les communications de M. Loiseau ayant pour objet un phacomètre et un optomètre métriques.* Bull. de l'acad. roy. de Méd. de Belg. (3.) XIII. 1. S. 38—63. — Ann. d'Ocul. Bd. 81. S. 47—60.

1880.

1765. M. Burgl. *Patentbrillenbestimmer zur schnellen Ermittelung der passenden Brillennummer für Kurzsichtige und Weitsichtige.* Passau. Bucher. 1880. 11 S.

1766. M. Hildebrand. *Ueber die Augenuntersuchung der dienstpflichtigen Mannschaft.* Diss Berlin. 29 S.
1767. Loiseau. *Optomètre métrique.* Bruxelles. 63 S.
1768. Maréchal. *Appareil pour la détermination de l'acuité visuelle et de la vision de couleurs.* Compt. Rend. du 6. congr. périod. intern. d'ophth. à Milan. 1880. S. 244
1769. G. Sous. *Phacomètre et optomètre.* Mém. de la Soc. d. sc. phys. et nat. de Bordaux. (2.) IV. 1.
1770. E. Weise. *Ueber das Verhältnifs des Grades der Hypermetropie zur Sehschärfe* Inaug.-Diss. Berlin. 1880.

1881.

1771. Loiseau. *La question des optomètres.* Ann. d'Ocul. Bd. 85. S. 5—37.
1772. Perrin. *Optométrie ou dioptrique de l'oeil.* Dict. encycl. d. sc. méd. Paris. XVI S. 449.

1882.

1773. V. Giudici. *Ancora due parole sulla misurazione della miopia e della ipermetropia* Rom. 1882.
1774. G. Leonhard. *Eine neue optometrische Methode und ihre Anwendung auf die Praxis,* Leopoldina. Amtl. Org. d. k. Leop.-Carol. Ak. Heft 23.
1775. G. Moyne. *Ottimetro modificato.* Boll. d'ocul. V. 4. S. 100.
1776. Seggel. *Ein doppelröhriges metrisches Optometer.* Ärztl. Intelligenz-Bl.

1883.

1777. D. Axenfeld. *Eine optische Erscheinung, welche zur Construction eines Optometers verwerthet werden kann.* Pflüg. Arch. Bd. 30. S. 288.
1778. H. Katsch. *Doppelröhriges Optometer..* Zeitschr. f. Instr.-Kde. III. S. 78.
1779. Moyne. *Ottimetro-modificato.* Neapel. 1883.

1884.

1780. H. Cohn. *Das Dioptrie-Lineal zur Brillenprobe.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 44
1781. H. Culbertson. *On the value of the prisoptometer in determining the degree of myopia, with table.* Amer. Journ. of Ophth. 15. April. I. S. 10.
1782. G. Moyne. *Ottometro-modificato.* Ann. di Ottalm, XIII. S. 588.
1783. Plehn. *Neu construirtes Optometer.* Ber. d. XVI. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 135.

1885.

1784. L. A. Borteling. *Compound optometer for correcting errors of refraction.* San Francisco. 1885. 18 S.
1785. L. Dahlerup. *Dr. Plehn's apparat til bestemmelse of refraction og synstyrke* Ugekr. for läger. 4 R. XII.
1786. Emmert. *Mesures anciennes et nouvelles.* Rev. méd. de la Suisse romande. No. 8 S. 474.
1787. Gazepy. *Optomètre et astigmomètre binoculaire.* Arch. d'Ophthalm. S. 182. Rec d'Ophthalm. S. 138.
1788. V. Giudici. *Sulla misurazione objettiva della miopia e della ipermetropia.* Giorn. d med. mil. di Roma. XXXIII. S. 128.
1789. A. Marula. *De la lunette de Galilée en optométrie.* Thèse de Paris. 49 S.
1790. Plehn. *Ein Apparat zur Ermittelung der Refractionsverhältnisse und der Sehschärfe des Auges.* Zeitschr. f. Instrkde. V. S. 53—57. — Arch. f. Augenheilkde XV. S. 269.
1791. L. Wolffberg. *Apparat zur Augenuntersuchung auf dem Assentplatz.* Dtsch. milit. ärztl. Zeitschr. XIV. S. 149.

1886.

1792. A. R. Baker. *The prisoptometer; an instrument for the ready detection and correction of myopia etc.* Cleveland med. Gaz. I. S. 314.
1793. H. Culbertson. *On a mode of determining, with the prisoptometer, the degree of latent hypermetropia without mydriatics.* Amer. Journ. of Ophth. S. 220.
1794. — *A mode of determining the absolute myopia through the aid of glasses with the prisoptometer.* Amer. Journ. of Ophth. S. 325.
1795. Deeren. *Etude des liens qui doivent exister entre l'acuité visuelle et la réfraction dans l'œil emmétrope et amétrope.* Rec. d'Ophth. S. 75.
1796. C. E. Fitzgerald. *Optometer.* Ophth. Rev. S. 62.

1797. J. Tweedy. *On a improved optometer for estimating the degree of astigmatism and other errors of refraction.* Lancet. I. S. 777.

1887.

1798. G. J. Bull. *Ein Optometer.* Ber. d. 19. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 192. Beil.-Heft zu Kl. Mon.-Bl. f. Augenhlkde. S. 3—18.

1799. Chisolm. *A simple and valuable optometer.* Transact. med. a. chir. Tosc. Maryland. Baltimore. S. 126.

1800. — *The ten inch optometer.* Maryland. Med. Journ. Baltimore. XVII. S. 141.

1801. C. E. Fitzgerald. *Demonstration eines Apparates zur schnellen Bestimmung der Refraction.* Ber. d. 19. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 204.

802. F. Hément. *L'optomètre Bull.* La Nature. XV. 2. S. 187—188.

803. W. A. Holden. *An instrument for testing refraction and its errors etc.* Arch. Ophth. New-York. S. 295.

1888.

804. S. M. Burnett. *Apparatus for diagnosis of refraction.* Amer. Journ. of Ophth. S. 312.

805. H. Culbertson. *An alleged defect of the prisoptometer.* Amer. Journ. of Ophth. S. 317.

806. A. L. Roe. *A new method of testing the refraction of the eye.* Lancet. I. S. 417.

807. A. H. Ward. *A new optometer for determining all errors of refraction.* Ber. d. 7. intern. Ophth.-Congr. zu Heidelberg. S. 439.

808. *Anweisung für den Gebrauch des von Dr. Engelhard construirten und patentirten monoculären und binoculären Optometers.* Schulz u. Bartels, opt. Industrie-Anst. zu Rathenow.

1889.

809. D. Axenfeld. *Un phénomène optique qui peut servir pour base à la construction d'un optomètre.* Arch. Ital. de Biol. XII. S. 1—3.

1890.

810. Chibret. *Un optomètre de poche fondé sur une propriété des progressions.* Soc. d'Ophth. 4. Febr. 1890. Rec. d'Ophth. S. 116.

811. Nimier. *Quelques remarques sur l'acuité visuelle et le strabisme chez les hypermétropes.* Rec. d'Ophthalm. No. 4. S. 229.

1891.

812. A. Carl. *Ein Apparat zur Prüfung der Sehschärfe.* Arch. f. Augenheilkde. XXIV. S. 41—47.

1892.

813. G. E. Mergier. *Optomètre portatif pour la détermination rapide des amétropies et la mesure de l'acuité visuelle.* Ann. d Ocul. T. 108. S. 351—363.

1893.

814. G. Bitzos. *Un nouveau phacomètre pratique à faire.* Ann. d'Ocul. T. CIX. S. 187.

815. G. E. Mergier. *Optomètre portatif pour la détermination rapide des amétropies et la mesure de l'acuité visuelle.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (N. F.) V. 20. S. 582.

816. Moon. *A portable and combined optometer and ophthalmoscope.* Medic. and Surgic. Reporter 11. Februar.

1894.

817. H. Bordier. *Détermination de l'acuité visuelle des yeux amétropes par l'optomètre du professeur Badal.* Arch. d'Ophth. XIV. 9. S. 562—580.

818. E. Constentin. *Optométrie objective.* Genf. Eggimann & Co. 1894. 172 S.

819. P. Sgrosso. *Communications cliniques d'optométrie, ophthalmometrie, skiascopie etc.* Arch. di Ottalm. III. 1/2.

820. M. Tscherning. *L'optomètre de Young et son emploi.* Arch. de Phys. (5.) VI. S. 909—919.

Massen-Untersuchungen in Bezug auf Refraction und Sehschärfe.

Weitere Litteratur ist in § 18. 3 angegeben. Ebenfalls ist ein Theil der in § 11. 8 angegebenen Litteratur zu beachten.

1830.

21. F. A. Hölke. *De acie oculi dextri et sinistri in 1200 hominibus sexu, aetate et vitae ratione diversis examinata.*

22. H. Cohn. *Die Kurzsichtigkeit unter den Schulkindern und ihre Beziehungen zu Schultisch und Helligkeit der Schulzimmer. Nach Untersuchungen an 7568 Schülern.* Vorl. Mitth. Deutsch. Klin. No. 7.

1867.

1823. H. Cohn. *Untersuchungen der Augen von 10060 Schulkindern.* Leipzig. Fleische

1871.

1824. H. Cohn. *Die Refraction von 240 atropinisirten Dorfschulkindern.* Arch. Ophthalm. XVII. (2.) S. 305.

1874.

1825. H. Cohn. *Die Augen der Greise.* Tagebl. d. Naturf.-Vers. zu Breslau.

1876.

1826. M. Reich. *Quelques mots sur l'acuité visuelle des soldats.* Brochure adjointe protocolle de la séance de la Soc. imp. de méd. du Caucase.

1877.

1827. H. Cohn. *Die Augen der Uhrmacher, Goldarbeiter, Juweliere und Lithographe* Centralbl. f. Augenheilkde. April.

1828. M. Reich. *Untersuchungen der Sehschärfe bei 4613 Rekruten.* Milit.-med. Monatssch Nov. 1877. Petersb. med. Wochenschr. No. 41. S. 349—351.

1878.

1829. F. C. Donders. *Rapport aangaande het onderzoek van het Gesichtsvermogen van h Personeel der Maatschappij tot Exploitatie van Staatsspoorwegen.* Utrecht, Danne felder u. Co. 44 S. — XIX. j. versl. Nederl. gasth. etc. S. 1—42.

1830. M. Reich. *Die Refraction der Augen von 1259 Schülern und Schülerinnen in Tifl* Petersb. med. Wochenschr. No. 31.

1879.

1831. H. Cohn. *Die Augen der Frauen.* Breslau. Morgenstern. 44 S.

1832. Horstmann. *Ueber Refractionsverhältnisse von Kindern.* Ber. üb. d. 12. Vers. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 239—248.

1880.

1833. Ely. *Beobachtungen mit dem Augenspiegel bezüglich der Refraction der Aug Neugeborener.* Arch. f. Augenheilkde. IX. 4. S. 431.

1834. Horstmann. *Ueber Refractionsbestimmungen bei Neugeborenen.* Klin. Monatsl f. Augenheilkde. S. 495. Dtsch. med. Wochenschr. No. 42. S. 566.

1881.

1835. A. C. Collard. *De Oogen der Studenten aan de Rijks-universiteit te Utrecl* 22. jaarl. Verl. betr. het Nederl. Gasth. v. Oogl. S. 73—152.

1836. L. Königstein. *Untersuchungen an den Augen neugeborener Kinder.* Wien. me Jahrb. 1. S. 47—70.

1837. M. Reich. *Die Sehschärfe in den Lehranstalten Rufslands.* Wratschebnija Wed mosti. No. 44. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 100.

1882.

1838. J. Albrecht. *Statistische Beiträge zur Lehre von der Myopie.* Klin. Monats f. Augenheilkde. S. 342.

1839. E. Dürr. *Tabellarische Zusammenstellung der Refraction einer Schule.* Ber. d. 1 Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 66.

1840. B. Lyder. *Refractions- und Farbenblindheits-Untersuchungen von 550 Schulkinde* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 406.

1883.

1841. E. Dürr. *Die Refraction von 414 Schülern nach Anwendung von Homatrop* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. (1.) S. 103.

1842. W. Hansen. *Untersuchungen der Augen von 808 Schulkindern im Alter v 10—15 Jahren.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 196.

1843. W. Manz. *Ueber die Augen der Freiburger Schuljugend.* Freiburg u. Tübing 36 S.

1844. A. v. Reuss. *Untersuchungen der Augen von Eisenbahn-Bediensteten auf Farb sinn und Refraction.* Arch. f. Ophthalm. XXIX. (2.) S. 229.

1845. M. Reich. *Refractionsveränderungen im Laufe von 6 Jahren an 85 Schülern be achtet.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. (2.) S. 303.

1884.

1846. J. Bjerrum. *Ueber die Refraction bei Neugeborenen.* Dtsch. med. Wochenschr. S. 7

1847. W. Hansen. *Untersuchungen über die Refractionsverhältnisse im 10.—15. Lebe jahre und das Wachsthum der Augen in diesen Jahren.* Kiel. Diss.

848. C. Horstmann. *Die Refractionsverhältnisse des menschlichen Auges bis zum 6. Lebensjahre.* Ber. d. 16. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 79.

1885.

849. B. Carter. *Eyesight in schools.* Med. Times and Gaz. I. S. 535, 569.

850. Th. Germann. *Beiträge zur Kenntnifs der Refractionsverhältnisse der Kinder im Säuglingsalter, sowie im vorschulpflichtigen Alter.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. XXXI. (2.) S. 122—146.

851. Randall, *Augenuntersuchungen in den Schulen.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 500.

852. — *A study of the eyes of medical students.* Transact. Pennsylvania State med. soc. 18 S.

853. Ch. Roberts. *Statistics of eyesight in elementary schools.* Med. Times and Gaz. I. S. 593.

854. Schiötz. *Ophthalmometrische und optometrische Untersuchung von 969 Augen.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 37.

1886.

855. H. Cohn. *Ueber neue Untersuchungen der Augen der Uhrmacher.* Berl. klin. Wochenschr. S. 391.

856. L. Siesmann. *Resultate der Sehprüfung der Schüler der Schule für Militärbader zu Irkutsk.* (Russisch.) Westnik ophth. II. 6. S. 464.

57. Ph. Steffan. *Die Myopie am Frankfurter Gymnasium.* v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXII. (2.) S. 301.

58. J. Widmark. *Refraktionsundersökningar, utförda vid några skolor in Stockholm (Untersuchung der Refraction in einigen Schulen Stockholms).* Nord. med. arkiv. Heft 4.

1887.

59. Jackmann. *Eyesight of school children.* Ophth. Rev. S. 23.

60. H. W. William. *The importance of re-examinations as to the accuracy of vision of railroad employés and mariners.* Boston med. and surg. Journ. Bd. 117. S. 373.

1888.

61. B. A. Randall u. G. E. de Schweinitz. *An analysis of the statistics of the refraction of the human eye.* Ber. d. 7. intern. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 511.

1889.

62. Barthélemy. *L'examen de la vision devant les conseils — marine et armée.* Paris. Baillière.

63. W. Feilchenfeld. *Statistischer Beitrag zur Kenntnifs der Refractionsänderungen bei jugendlichen und erwachsenen Personen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (1.) S. 113—136.

64. *Colour-blindness and defective far sight among the seamen of the mercantile marine.* Nature. S. 438.

1890.

65. J. Arminski. *Das Verhältnifs zwischen dem Fernpunkt des Normalmenschen und seinen Beschäftigungen.* Wien. med. Blätter. No. 40 u. 41. Verh. d. X. internat. med. Kongr. Bd. IV. S. 86.

66. T. Axenfeld. *Untersuchungen mehrerer Marburger Schulen auf Kurzsichtigkeit.* Inaug.-Diss. Marburg. 30 S.

67. H. Cohn. *Die Augen der Zöglinge der Breslauer Taubstummen-Anstalt.* Jahresbericht d. Taubstummen-Anstalt für 1890.

68. G. Mackay. *Colour-Blindness and defective sight in relation to public duty.* Brit. Med. Journ. No. 1568. S. 123.

69. J. Rheinstein. *Die Veränderungen der Schüleraugen in Bezug auf Refraction und Augenspiegelbefund, festgestellt durch in Zwischenräumen von mehreren Jahren wiederholte Untersuchung derselben Schüler.* Inaug.-Diss. Würzburg. 24 S.

1894.

0. M. Girls. *Die Augen der indianischen Schulkinder.* Zeitschr. f. Schulgesundhtspflge. 10. S. 569.

1. L. Kotelmann. *Die Sehschärfe der Schüler des Gymnasium Christianeum in Altona.* Zeitschr. f. Schulgesdhtspflge. 2. S. 74.

2. H. S. Miles. *Refractionsstörungen bei 4000 Augen.* The Refractionist. Octbr.

1873. K. Pischl. *Bericht über die Untersuchungen der Augen von 1900 Schulkindern de öffentlichen Schulen von San Francisco.* Journ. Amer. med. Assoc.

1874. Richi. *Anomalies de la vision relevées sur 45000 sujets.* Ann. d'Ocul. Bd. 11] S. 350—371.

7. Brillen-Scalen und besondere Brillenformen.

1864.

1875. A. Burow. *Ueber die Reihenfolge der Brillenbrennweiten.* Berlin.

1866.

1876. H. Gerold. *Die zwiefache Planconvex-Brille. Ein Doppelocular von verschiedene Focaldistanz mit der Gesammtbrennweite eines einfachen Aequivalents, berechnet un construirt für eine bestimmte Hypermetropie.* Arch. f. Ophthalm. XII. (1.) S. 31—3 Zeitschr. f. d. ges. Naturwiss. XXXV. S. 215.

1877. A. Steinheil. *Ueber Brillengläserscalen und Accommodationsvergleichungen.* Zeitsch f. Biol. II. S. 366—376. — Zeitschr. f. Naturwiss. XXXV. S. 215.

1867.

1878. E. Javal. *Eine einheitliche Mafsbestimmung der Brillen-Brennweiten.* Klin. Mon Bl. V. S. 297.

1868.

1879. A. Burow. *Sur les séries des verres et sur l'emploi du système métrique pour numérotage des lunettes.* Ann. d'Ocul. LX. S. 5.

1870.

1880. A. Burow. *Ueber die Reihenfolge von Brillennummern.* Zeitschr. f. Naturwis XXXV. S. 215.

1871.

1881. P. Braham. *Description of a set of lenses for the accurate correction of visu defect.* Rep. Brit. Ass. S. 37.

1872.

1882. E. Javal. *Das metrische System für optische Focallängen.* Klin. Mon.-Bl. X. S. 29

1873.

1883. A. Burow. *Das Meter-Mafs zur Bezeichnung der Brillen-Brennweite.* Klin. Mon Bl. XI. S. 145.

1884. — *De l'emploi du système métrique pour désigner les longueurs focales des verres lunettes.* Ann. d'Ocul. LXX. S. 52.

1885. Giraud-Teulon. *De la substitution du mètre au pied dans le numérotage des verr de lunettes.* Ann. d'Ocul. LXIX. S. 235.

1886. Königsberg. *Entgegnung auf Giraud-Teulon's letzte Arbeit über Brille Numerotage.* Klin. Mon.-Bl. XI. S. 303.

1887. F. Monoyer. *Sur l'introduction du système métrique dans le numérotage des verr de lunettes etc.* Ann. d'Ocul. LXIX. S. 97.

1888. A. Nagel. *Zur Brillen-Numerirungs-Frage.* Klin. Mon.-Bl. XI. S. 93.

1889. E. Warlomont. *De la substitution du mètre au pied dans le numérotage des verr de lunettes.* Ann. d'Ocul. LXIX. S. 5 u. 193.

1890. W. Zehender. *Ueber die Einführung des metrischen Systems in die Lehre vo den Refractionsanomalien des menschlichen Auges.* Klin. Mon.-Bl. XI. S. 1.

1891. — *Giraud-Teulon's Vorschlag, betreffend die Numerotage der Brillengläser.* Kli Mon.-Bl. XI. S. 223.

1892. — *Zur Frage der Einführung des französischen Maafses in die Dioptrik.* Kli Mon.-Bl. XI. S. 267.

1874.

1893. Nagel. *Einheit der Brillengläser.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 362.

1894. — *Ueber die Benutzung des Metermaafses zur Numerirung der Brillen.* Stuttgar

1876.

1895. Badal. *Optomètre métrique international.* Ann. d'Ocul. LXXV. S. 101—107.

1896. F. C. Donders. *Ueber das Metermaafs mit Bezug auf Numerirung der Brille gläser und Bezeichnung der verschiedenen Grade der Ametropie.* Klin. Mon.-Bl. Augenheilkde. XIII. S. 465—477.

1897. J. v. Hasner. *Die Donders'sche Meterscala für Brillen.* Prag. med. Wochensch S. 959.

1898. E. Landolt. *Die Einführung des Metersystems in die Ophthalmologie.* Stuttgart. Enke. 30 S. — Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XIV. S. 223—250. — Ann. d'Ocul. Bd. 75. S. 207—234.

1877.

1899. Badal. *Optomètre métrique international.* Bull. mens. de la clin. du Dr. B. Paris. Delahaye. S. 17—23.

1900. Landolt. *Ueber das Verhältnifs der alten zur neuen Einheit der Brillengläser.* Ann. d'Ocul. Bd. 78. S. 44—47. — Klin. Mon.-Bl. XV. S. 333—336.

1878.

1901. C. M. Gariel. *Sur le numérotage des verres de lunettes.* Journ. de phys. VII. S. 127—130.

1902. v. Hasner. *Ueber die Dioptrie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 75—77.

903. C. Horstmann. *Zur Numerirung der Brillengläser.* Cassel.

1880.

904. A. Nagel. *Ueber die Bezeichnung dioptrischer Werthe aus dem Betrage symmetrischer Convergenzbewegungen nach metrischen Maafseinheiten.* Mitth. a. d. ophthalm. Klin. in Tübingen. Heft 1.

1881.

905. A. Nagel. *Ueber die neuen nach metrischem Maafse bezeichneten Brillengläser.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. I. S. 161—164.

1882.

906. Juda. *De benaming der brillenglazen in dioptrien.* Neederl. Tijdschr. v. Geneesk. Amsterdam. XVIII. S. 687.

907. E. Raehlmann. *Ueber die optische Wirkung der hyperbolischen Linsen, sowie über die Anwendung derselben als Brillen.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 111.

1883.

908. Badal. *Verres périscopiques et cônes de Steinheil.* Ann. d'Ocul. Bd. 89. S. 19.

909. A. Imbert. *De l'interprétation et de l'emploi du pouvoir dioptrique et de la dioptométrie métrique en ophthalmologie.* Lyon, Thèse de doctor. Paris, Baillière et fils.

10. A. Angelucci. *Sulla refrazione e correzione delle cornee coniche ed ectatiche.* Ann. di Ottalm. XIII. S. 35.

1885.

11. R. M. Ferguson. *The dioptric system and its relation to the old system of numbering lenses.* Louisville. Med. News. XIX. S. 353.

1886.

12. Burnett. *The metre-lens, its English name and equivalent.* New-York. med. Journ. Bd. 44. S. 183.

13. — *The dioptry again.* New-York. med. Journ. Bd. 44. S. 380.

14. Knapp. *Dioptry or dioptric.* New-York. Med. Journ. XLIV. S. 377.

1888.

15. D. Doijer. *De brillinkwestie.* Feestbundel. Donder's Jubiléum. Amsterdam. S. 60.

16. A. E. Fick. *Eine Contactbrille.* Arch. f. Augenheilkde. XVIII. S. 279.

17. J. Wallace. *The correction of conical cornea.* Univ. med. Mag. Philadelphia. 1888/89. S. 231.

18. W. v. Zehender. *Zwei Bemerkungen zur Brillenfrage.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 393.

1890.

9. E. Berger. *Appareil destiné à remplacer la boite de verres d'essai.* New York Med. Journ. Vol. LII. No. 10. S. 30.

0. E. Landolt. *Le numérotage rationel des verres prismatiques employés en ophthalmologie.* Arch. d'Ophthalm. X. 5. S. 401.

1892.

1. A. E. Fick. *Einige Bemerkungen über die Contactbrille.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXX. S. 306—310.

1893.

2. Pflüger. *Tori- und Doppelfocus-Gläser.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXI. S. 1—18.

3. Romano. *Die torischen Gläser.* Arch. di Ottalm. I. 1/2.

4. Steiger. *Zur Benennung torisch geschliffener Brillengläser.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. Bd. XXXI. S. 103.

1925. W. v. Zehender. *Zur Benennung torisch geschliffener Brillengläser.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. Bd. XXXI. S. 103.

1894.

1926. J. Bjerrum. *Om Kontaktglas.* Med. Aarsskrift. Kopenhagen.

8. Refractionsanomalien, ihre Entstehung und Heilung.

Hier ist auch die in § 11, 6 angegebene Litteratur zu beachten.

1852.

1927. L. Thellmann. *De Myopia.*

1853.

1928. J. C. Brauneck. *De myopia et presbyopia.* Berlin.

1865.

1929. F. W. Heberling. *De Myopia.* Berlin.

1866.

1930. H. Cohn. *Die Kurzsichtigkeit unter den Schulkindern und ihre Beziehungen z. Schultisch und Helligkeit der Schulzimmer.* Nach Untersuchungen an 7568 Schülern. Vorl. Mitth. Dtsche. Klin. No. 7.

1931. E. Reymond. *Annotazioni sulla Miopia.* Torino.

1868.

1932. H. Cohn. *Myopie und simulirte Myopie.* (Russisch.) Russ. Arch. f. öffentl. Gesdhtspflge. No. 1. St. Petersburg.

1933. W. Dobrowolsky. *Myopie. Ihre Complication mit Accommodationskrampf.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. Aufserord. Beilagehft. S. 1—93.

1869.

1934. W. Dobrowolsky. *Scheinbare und falsche Kurzsichtigkeit in Folge von Contractur der Accommodationsmuskel.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. Aufserord. Beilageh. S. 141—200.

1873.

1935. H. Borgmann. *Ueber die Verwendung decentrirter Brillen bei Myopie.* Berlin.

1874.

1936. J. Schnabel. *Zur Lehre von den Ursachen der Kurzsichtigkeit.* Arch. f. Ophthalm. XX. (2.) S. 1—70.

1875.

1937. A. E. Brauns. *Ueber die Sehschärfe bei Myopie ohne Correction.* Marburg.

1876.

1938. F. v. Arlt. *Ursachen und Entstehung der Kurzsichtigkeit.* Wien.

1939. L. Weiss. *Beiträge zur Entwickelung der Myopie. — Ueber eine leicht auszuführende Messung des Augenspiegelbildes und die Bedeutung dieser Messungen für die Beurtheilung des dioptrischen Apparates des Auges.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXII. (3.) S. 1—124.

1877.

1940. E. Landolt. *Bemerkungen zu dem Artikel: Beiträge zur Entwickelung der Myopie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (1.) S. 263—264.

1941. — *Sur les causes des anomalies de la réfraction.* Gaz. hebdom. 2. S. XIV. 3 S. 618.

1878.

1942. Swan M. Burnett. *Die Sehschärfe bei hochgradiger Ametropie.* Americ. Journ. of ment. sc. S. 362—370.

1943. Schön. *Die Ueberbürdung des Auges und die Zunahme der Kurzsichtigkeit.* Fränkel Zeitschr. f. prakt. Med. No. 21.

1879.

1944. Fick. *Ueber den Zusammenhang zwischen Myopie und Divergenzschielen.* Bresl. Aerztl. Zeitschr. I. No. 5.

1945. O. Just. *Beiträge zur Statistik der Myopie und des Farbensinnes.* Arch. f. Augenheilkde. VIII. S. 191—201.

1946. E. Landolt. *Ueber Myopie.* The Roy. Lond. Ophthalm. Hosp. Rep. IX. 3.

1880.

1947. Horstmann. *Ueber Myopie.* Arch. f. Augenheilkde. IX. 2.

1948. Javal. *Les livres scolaires et la myopie.* Bullet. de l'Acad. de Méd. (2.) IX. 12. S. 221. Gaz. méd. de Paris. No. 13. S. 161.

1949. S. Smith. *Short-Sight in relation to education.* Birmingham and Leicester. 1880.

1881.

1950. H. Bertin-Sans. *Le problème de la myopie scolaire.* Ann. d'hygiène publ. IV. 1. 2.

1951. G. B. Bono. *Del rapporto tra la forma del cranio e la refrazione oculare.* Giorn. d. Soc. ital. d'ig. Milano. III. S. 641.

1952. E. Landolt. *Relations between the conformation of the cranium and that of the eye.* Brit. Med. Journ. 2. April.

1953. E. Meyer. *De la myopie dans les écoles des différentes nations.* Rev. méd. franç. et étrang. No. 9.

1954. Sormanni. *Miopio.* Geogr. nosolog. dell' Italia. Roma 1881. Cap. 21. S. 266.

1882.

1955. J. Albrecht. *Statistische Beiträge zur Lehre von der Myopie.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 342.

1956. Amadei. *Sulla craniologia delle Anomalie die Refrazione dell' occhio.* Ann. di Ottalm. XI. S. 1.

1957. E. Bertin-Sans. *Le problème de la myopie scolaire.* Ann. d'hyg. Paris. VII. S. 46. u. 186.

958. W. E. Mittendorf. *Myopia and the necessity of correcting it by glasses.* Philadelphia. M. Times. XIII. S. 60.

959. Schleich. *Klinisch-casuistische Beiträge zur Lehre von der Myopie.* Mitth. a. d. Klin. in Tübingen. S. 1.

960. Tscherning. *Studier oven myopiens aetiologi.* Kopenhagen. Myhres. 1882.

961. L. Weiss. *Beiträge zur Anatomie des myopischen Auges.* Nagel's Tübing. Mitth. Heft 3. S. 63—117.

1883.

962. O. Becker. *Ueber zunehmende und überhandnehmende Kurzsichtigkeit.* Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 77.

963. G. B. Bono. *Indice cefalico e refrazione oculare.* Giorn. d. R. Accad. d. Med. di Torino. No. 1.

964. J. Chasanow. *Ueber die Progression der Myopie.* Diss. Königsberg.

965. Daniel. *Ueber den Einfluſs des Lebensalters auf das Verhältniſs der manifesten zur totalen Hypermetropie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Juli-Aug.

966. M. Dobrowolsky. *Die Sehschärfe und Kurzsichtigkeit bei den Schülern des Uralschen Gymnasiums.* Wratsch. No. 6.

967. Förster. *Ueber die Entstehungsweise der Myopie.* Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 119.

68. Fulda. *Zur Frage der Schulkurzsichtigkeit.* Blätt. f. Handel, Gewerbe u. sociales Leben. (Beibl. z. Magdeburg. Ztg.) No. 10 u. 11.

69. D. Hunt. *On the causation of myopia.* New-York. med. Journ. No. 10.

70. W. J. Mittendorf. *Der Einfluſs der Civilisation auf das menschliche Auge, besonders auf die Entwickelung der Myopie.* Verh. d. dtsch. Ges. u. wiss. Ver. i. New-York. V. S. 30.

71. J. Morosin. *Determinazione di V et di R. Miopia, ipermetropia, astigmatisme.* Sassari. 1883. 80 S.

72. Paulsen. *Die Entstehung und Behandlung der Kurzsichtigkeit.* Berlin. 41 S.

73. Pflüger. *Myopische Anisometropie.* Ber. d. Univ.-Augenkl. in Bern f. 1881. Bern. 1883. S. 51.

74. M. Reich. *Refractionsveränderungen im Laufe von 6 Jahren an 85 Schülern beobachtet.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. 2. S. 303.

75. E. Ritzmann. *Hygienische Rathschläge gegen das Ueberhandnehmen der Kurzsichtigkeit bei der Schuljugend.* Beil. z. Osterprogr. d. Schulen d. Stadt Schaffhausen. 30 S.

76. Ph. Steffan. *Zur Schulkurzsichtigkeitsfrage.* Dtsch. Vierteljahrsschr. f. öffentl. Schulgesdhtspflge.

77. Tipton. *Some facts concerning the eyesight in school children.* Transact. med. assoc. Alabama, Montgomery. S. 447.

78. M. Tscherning. *Studien über die Aetiologie der Myopie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. 1. S. 201.

1884.

1979. E. Dürr. *Die Entwickelung der Kurzsichtigkeit während der Schuljahre.* Braunschweig.
1980. Förster. *Ueber den Einflufs der Concavgläser und der Axenconvergenz auf die Weiterentwickelung der Myopie.* Arch. f. Augenheilkde. XIV. S. 295.
1981. C. Horstmann. *Beiträge zur Entwickelung der Refractionsverhältnisse des menschlichen Auges während der ersten fünf Lebensjahre.* Arch. f. Augenheilkde. XIV S. 328.
1982. Manolescu. *Myopie in der Schule.* Wien. med. Wochenschr. No. 47.
1983. Snell. *Influence of school life on eyesight.* London. 16 S.

1885.

1984. W. Dobrowolsky. *Zur Frage über die Entstehungsweise der Myopie.* Klin. Mon. Bl. f. Augenheilkde. S. 157.
1985. A. Nagel. *Wie ist die Entwickelung der Kurzsichtigkeit zu verhüten?* Besond. Beil d. Staatsanz. f. Württemberg. No. 6. Stuttgart.
1986. A. v. Reuss. *Ueber den Einflufs der Schule auf das Entstehen und Wachsen der Kurzsichtigkeit.* Österr. ärztl. Vereinsztg.
1987. Schmidt-Rimpler. *Zur Frage der Schulmyopie.* Ber. über d. 16. Vers. d. ophthalm Ges. in Heidelberg. S. 146.
1988. Seely. *Weiteres über die Entstehungsweise der Myopie.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 278.
1989. Stilling. *Eine Studie zur Kurzsichtigkeitsfrage.* Arch. f. Augenheilkde. XV. S. 133
1990. Ulrich. *Untersuchungen über den Zusammenhang von Convergenz und erworbener Myopie.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 433.
1991. L. Weiss. *Ueber die ersten Veränderungen des kurzsichtigen, bezw. kurzsichtig werdenden Auges.* Ber. über d. 17. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 138
1992. — *Ueber den an der Innenseite der Papille sichtbaren Reflexbogenstreif und seine Beziehung zur beginnenden Kurzsichtigkeit.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXI. (3.) S. 239.
1993. — *Ueber Länge und Krümmung des Orbitalstückes des Sehnerven und deren Einflufs auf die Entstehung der Kurzsichtigkeit.* Tagebl. d. 58. Vers. dtsch Naturf. u. Aerzte in Strafsburg. S. 498.

1886.

1994. E. Adamück. *Zur Frage über die Myopie in den Schulen.* (Russisch.) Ophthalm Bote. III. S. 269—321 u. 429—449.
1995. Browne. *The genesis of short sight.* Liverpool. med.-chir. Journ. Juli. S. 269.
1996. Deeren. *Étiologie et prophylaxie de la myopie axile chez les écoliers.* Rec d'Ophthalm. S. 449.
1997. Förster. *On the influence of concav glasses and convergence of the ocular axes in the disease of myopia.* Arch. d'Ophthalm. XV. S. 399.
1998. M. Knies. *Ueber Wesen und Therapie der Myopie.* Ber. d. 18. Vers. d. ophthalm Ges. S. 26.
1999. Schiess. *Ueber Schule und Kurzsichtigkeit.* Allg. Schweiz. Ztg.
2000. Schneller. *Ueber Entstehung und Entwickelung der Kurzsichtigkeit.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXII. (3.) S. 245.
2001. W. Schön. *Ueberanstrengung der Accommodation und deren Folgezustände.* Arch f. Augenheilkde. XVII. S. 1. Tagebl. d. 59. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 385.
2002. Pr. Smith. *On means for the prevention of myopia.* Ophthalm. Rev. S. 153.
2003. Ph. Steffan. *Die Myopie am Frankfurter Gymnasium.* Graefe's Arch. f. Ophthalm XXXII. (2.) S. 301.
2004. — *Unsere neuen Schulgebäude (Schulpaläste) und ihr Einflufs auf die sog. Schulkurzsichtigkeit.* Centralbl. f. allg. Gesdhtspflege. V. S. 6.
2005. Stilling. *Contribution to the study of myopia.* Arch. Ophthalm. New-York. XV S. 296.
2006. — *Ueber Entstehung der Myopie.* Ber. d. 18. Vers. d. ophthalm. Ges. S. 14.
2007. A. Szili. *Seltene Fälle von erworbener Myopie.* Szémeszet. S. 25.

1887.

2008. Javal. *Sur la myopie scolaire.* Bull. Ac. de méd. Paris. (2.) XXVIII. S. 443.
2009. J. Mannhardt. *Senile Myopie.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXV. S. 217 u. 45(

2010. E. F. W. Pflüger. *Kurzsichtigkeit und Erziehung.*

2011. J. Stilling. *Untersuchungen über die Entstehung der Kurzsichtigkeit.* Wiesbaden. Bergmann. 216 S.

2012. Straumann. *Ueber ophthalmoskopischen Befund und Hereditärverhältnisse bei der Myopie.* Diss. Basel.

2013. K. K. Veszely. *Zur Genese der Myopie.* Wien. med. Wochenschr. Bd. 37. S. 1119—23, 1150—54, 1173—76.

1888.

2014. N. A. Baer. *Ueber das Verhalten des Orbita-Index bei den verschiedenen Refractionszuständen vom 10.—19. Lebensjahre.* Diss. München.

2015. Ceveseto. *La retina del miope è l'unico oggetto che l'ipermetrope possa vedere senza correggere la sua ametropia.* Ann. di Ottalm. S. 385.

2016. Petrini. *Esame dell' occhio miope ad immagine diritta.* Boll. d'Osp. di S. Casa di Loreto. 1887/88. S. 448.

2017. Schneller. *Ueber die Entstehung und Behandlung der Kurzsichtigkeit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. April. S. 109.

2018. J. Stilling. *Schädelbau und Kurzsichtigkeit.* Wiesbaden. J. F. Bergmann. 124 S.

2019. — *Ueber Schädelbau und Refraction.* Ber. d. 7. intern. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 97.

2020. L. Weiss. *Zur Beziehung der Form des Orbitaeinganges zur Myopie.* Klin. Mon. Bl. f. Augenheilkde. S. 349.

1889.

2021. W. de Joug. *Beitrag zur Entwickelungsgeschichte der Myopie.* Diss. Freiburg.

2022. Nuel et Leplat. *Les vaisseaux rétiniens dans la myopie congénitale.* Ann. d'Ocul. CI. S. 154.

2023. H. Schmidt-Rimpler. *Kurzsichtigkeit und Augenhöhlenbau.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (1.) S. 200—219.

2024. — *Noch einmal die Orbital-Messungen bei verschiedenen Refractionen.* Fortschr. d. Med. VII. 20. S. 769.

2025. — *Bemerkungen zu Stilling's Aufsatz: Ueber Orbital-Messungen bei verschiedenen Refractionen.* Fortschr. d. Med. VII. 15. S. 573.

2026. — *Zur Frage der Schulmyopie.* 2. Theil. Mit 4 Fig. im Text. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (4.) S. 249—286.

2027. J. Stilling. *Ueber Orbital-Messungen bei verschiedener Refraction.* Fortschr. d. Med. S. 444.

2028. — *Ueber neue Orbital-Messungen an Kurz- und Normalsichtigen.* Fortschr. d. Med. VII. 17. S. 647.

2029. — *Auch noch einmal Myopie und Orbitalbau.* Fortschr. d. Med. VII. 22. S. 861.

1890.

2030. J. Arminski. *Das Verhältnifs zwischen dem Fernpunkt des Normalmenschen und seinen Beschäftigungen.* Wien. med. Blätter. No. 40. u. 41.

2031 Berry. *On Myopia: a criticism of the discussion at Birmingham.* Ophthalm. Rev. No. 109. S. 327.

2032. H. Cohn. *Ueber den Einflufs hygienischer Mafsregeln auf die Schulmyopie.* Zeitschr. f. Schulgesdhtspflge. No. 1 u. 2.

2033. — *Kurze Replik auf die Entgegnung des Professors v. Hippel betreffs seiner Schrift über Schulmyopie.* Zeitschr. f. Schulgesdhtspflge. No. 4.

2034. V. Fukala. *Treatment of high degrees of myopia bei removal of the lens.* Americ. Journ. of Ophthalm.

2035. Galezowsky. *Etude sur quelques variétés graves de myopie et sur les moyens de les guérir.* Rec. d'Ophthalm. S. 513—521 u. 577—586.

2036. J. Hirschberg. *Diabetische Kurzsichtigkeit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. 14. Jahrg. S. 7—8.

2037. A. Krotoschin. *Anatomischer Beitrag zur Entstehung der Myopie.* Arch. f. Augenheilkde. XXII. S. 393.

2038. Kühnen. *Beschreibung einiger Modelle und Apparate (u. a. auch zur Demonstration der Myopie etc.)* Zeitschr. f. Biol. (N. F.) IX. S. 418—432.

2039. Nuel. *Une curiosité physiologique de l'œil myope.* Ann. d'Ocul. Juillet-Août. S. 43.

2040. — *Diagnostic de la prédisposition à la myopie.* Rev. gén. de l'Ophthalm. S. 215

2041. B. A. Randall. *Can Hypermetropia be healthfully outgrown?* Transact. of th Americ. Ophthalm. Soc.
2042. Rotand. *De la myopie et quelques considérations sur son étiologie et sa prophylaxi* Thèse de doctor.
2043. H. Schmidt-Rimpler. *Bemerkung zu Stilling's letzter Erwiderung.* Fortschr. d Med. S. 58.
2044. — *Die Schulkurzsichtigkeit und ihre Bekämpfung.* Leipzig. Engelmann. 115 S
2045. Seggel. *Ueber die Abhängigkeit der Myopie vom Orbitalbau und die Beziehunge des Conus zur Refraction.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (2.) S. 1—65.
2046. Priestley Smith. *On Myopia: a reply to Dr. Berry's criticism.* Ophthalm. Rev. S. 345—351.
2047. — *A discussion on the causes, prevention and treatment of myopia.* Ophthalm. Rev S. 252—253.
2048. Priestley Smith u. Gross. *Myopia: its causes, prevention and treatment.* Ophthalm Rev. 1890. No. 109. S. 313.
2049. Stilling. *Ueber das Wachsthum der Orbita und dessen Beziehungen zur Refractio* Arch. f. Augenheilkde. XXII. S. 47.
2050. H. Wingerath. *Kurzsichtigkeit und Schule.* Berlin. Friedländer u. Modl.

1891.

2051. Deeren. *Quelques remarques sur la myopie.* Rec. d'ophthalm.
2052. V. Fukala. *On the injurious influence of the accommodation upon the increase o myopia of the highest degree.* Americ. Journ. of Ophthalm. VIII. No. 3. S. 81.
2053. — *Heilung höchstgradiger Kurzsichtigkeit durch Beseitigung der Linse.* Leipzi u. Wien. F. Deuticke. 31 S.
2054. — *Ueber die Ursache der Verbesserung der Sehschärfe bei höchstgradig myopis gewesenen Aphaken.* Arch. f. Augenheilkde. Bd. 24. 2. S. 161—168.
2055. Keyser. *Hypermetropia.* Times and Reg. XII. S. 133.
2056. A. Krotoschin. *Anatomischer Beitrag zur Entstehung der Myopie.* Arch. f. Auge heilkde. XXII. S. 393—421.
2057. Nimier. *Myopia in schools.* New-York. med. Journ. LIV. No. 16. S. 435.
2058. — *De la myopie chez les candidats aux écoles militaires.* Ann. d'Ocul. CVI. S. 1
2059. J. P. Nuel. *D'une apparence ophthalmoscopique de l'œil myope. — Contributio à la connaissance de la prédisposition héréditaire à la myopie.* Arch. d'Ophthalm XI. S. 56—73.
2060. F. Ott. *Ueber die hochgradige Myopie.* Inaug.-Dis. Strafsburg. 57 S.
2061. Th. Proskauer. *Ein Beitrag zur Myopiestatistik.* Graefe's Arch. f. Ophthalm XXXVII. (2.) S. 199—219.
2062. A. B. Randall. *Nimmt Hypermetropie durch normales Wachsthum ab?* K Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXIX. S. 57—62.
2063. Th. v. Schröder. *Die operative Behandlung der hochgradigen Myopie mittelst En fernung des Linse.* St. Petersb. med. Wochenschr. No. 29. S. 251.
2064. Schröter. *Einflufs der Schuljahre auf die Entwickelung der Kurzsichtigkei* Leipzig.
2065. Theobald. *Inherited monocular myopia.* Americ. Journ. of Ophthalm. VIII S. 251.

1892.

2066. J. Arminski. *Das Verhältnifs zwischen dem Fernpunkt des Normalmenschen un seinen Beschäftigungen.* Verhandl. d. X. internat. med. Kongresses. Bd. IV. S. 86
2067. R. D. Batten. *Myopia the result constitutional disease.* Ophthalm. Rev. XI. 1.
2068. Belliard. *Rapport sur la myopie scolaire.* Bullet. de la soc. d'ophthalm. de Pari S. 121.
2069. A. Bock. *Untersuchungen über die Erblichkeit der Myopie.* Diss. Kiel. 17 S.
2070. V. Fukala. *Der schädliche Einflufs der Accommodation auf die Zunahme der höchs gradigen Myopie.* Berl. klin. Wochenschr. No. 23. S. 558.
2071. O. Gerloff. *Beitrag zur Arbeitsmyopie.* Ber. über d. XXII. Vers. d. ophthalm Ges. zu Heidelberg. S. 172—180.
2072. A. Krotoschin. *Anatomischer Beitrag zum Studium der Entwickelung der Myopi* Arch. of ophthalm. XXI. 1. S 33—38.
2073. P. Landsberg. *Eigenartiger Gebrauch des Convexglases bei excessiver Hype metropie.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXX. S. 187—192. 292 u. 361.

2074. NIMIER. *Remarques sur la répartition géographique de la myopie en France.* Bullet. de la Soc. d'Ophthalm. de Paris. S. 1.

2075. OSTWALT. *Réfraction de l'œil fort myope à l'état d'aphakie avec remarques sur les avantages du choix uniforme du foyer antérieur de l'œil muni du cristallin comme point de départ pour toutes les mesures de la réfraction, même de l'œil aphaque.* Rev. gén. d'ophthalm. XI. S. 1—21.

2076. PFLÜGER. *Bemerkungen zur operativen Behandlung hochgradiger Kurzsichtigkeit.* Ber. über d. XXII. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 118—123.

2077. F. POELLER. *Experimental - Beiträge zur Myopie - Hygiene.* Arch. f. Hyg. XIII. S. 335—343.

2078. RYMSZA. *Vergleichende Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen dem Refractionszustande der Augen und dem Schädelbau.* Diss. Dorpat. 65 S.

079. SCHWEIGGER. *Correction der Myopie durch Aphakie.* Ber. über d. XXII. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 115—118.

080. S. STEPHENSON. *A note upon the relative frequency of myopia among Christians and Jews.* Ophthalm. Rev. XI. S. 110—112.

2081. J. STILLING. *Zur Kurzsichtigkeitsfrage.* Berl. med. Wochenschr. No. 16. S. 398.

082. VALUDE. *Myopie forte. Extraction du cristallin transparent.* Bullet. de la Soc. d'ophthalm. de Paris. S. 30.

1893.

083. K. L. BAAS. *Zur Anatomie und Pathogenese der Myopie.* Knapp u. Schweigger's Arch. f. Augenheilkde. XXVI. S. 33—56.

084. E. GELLZUHN. *Ueber einen Fall von höchstgradiger Uebersichtigkeit mit besonderer Berücksichtigung der Diagnostik.* Diss. Berlin. 29 S.

085. HAUVEL. *De la myopie, ses rapports avec l'astigmatisme.* Paris. Steinheil.

086. B. JANKOWSKI. *Beitrag zur Myopiefrage.* Mitth. a. klin. u. med. Inst. d. Schweiz. I. Reihe. 2. Heft. Basel. C. Sallmann. 57 S. — Diss. Bonn.

087. H. OHLEMANN. *Beitrag zur Schulmyopie.* Arch. f. Augenheilkde. XXVI. S. 168—180.

088. H. SCHMIDT-RIMPLER. *Zur Myopiefrage.* Ztschr. f. Schulgesdhtspflge. VI.

089. W. SCHOEN. *Erworbene Brechungsänderungen des Auges.* Arch. f. Augenheilkde. XXVII. S. 268—293.

090. SCHWEIGGER. *Operative Beseitigung hochgradiger Myopie.* Vortr. i. d. Berl. med. Ges. Dtsch. med. Wochenschr. No. 20.

091. SULZER. *Quelques faits relatifs au développement de la myopie.* Ann. d'Ocul. Juli.

092. THIER. *Die operative Correction höchstgradiger Myopie durch Discision der Linse.* Dtsch. med. Wochenschr. XIX. No. 30. S. 717—720.

1894.

093. J. ASHER. *Geschichtlicher und experimenteller Beitrag zum Studium der Entstehung der Myopie.* Deutschmann's Beitr. z. Augenheilkde. XVI. S. 19.

094. M. HORI. *Beitrag zur operativen Behandlung der hochgradigen Myopie.* Arch. f. Augenheilkde. XXIX. S. 142—161.

95. H. J. KESSLER. *Myopia acquisita ten gevolge van aandœning der lens.* Weekblad. No. 6. S. 167.

96. M. NIEBUHR. *Beitrag zur Lehre von der operativen Behandlung der Myopie.* Diss. Halle. 40 S.

97. SCHMIDT-RIMPLER. *Zur Myopiefrage.* Ztschr. f. Schulgesdhtspflge. No. 1 u. 4.

98. TH. v. SCHRÖDER. *Des résultats du traitement des hauts degrés de myopie par l'extraction du cristallin transparent.* Wiestn. Ophthalm. März-April.

99. — *Ueber die bisherigen Resultate der operativen Behandlung der hochgradigen Myopie nebst Bemerkungen über die Antiseptik bei Augenoperationen.* St. Petersb. med. Wochenschr. No. 4.

00. J. STILLING. *Zur Myopiefrage.* Ztschr. f. Schulgesdhtspflge. No. 3.

01. — *Beruht die hochgradige Myopie auf Inzucht?* Kl. Mon. - Bl. f. Augenheilkde. XXXII. S. 164—165.

02. — *Myopie und Orbitalbau.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XVIII. 1. S. 31.

03. THIER. *Zur operativen Correction der höchstgradigen Myopie durch Discision der Linse.* Wien. klin. Wochenschr. S. 399.

04. C. VELHAGEN. *Entsteht hochgradige Myopie durch Inzucht?* Kl. Mon. - Bl. f. Augenheilkde. XXXII. S. 80—87.

05. P. VOYBURG. *Verwydering der Lens by myopie.* Weekblad. II. S. 181.

9. Historisches.

1866.

2106. A. Nagel. *Historische Notiz über Hyperopie und Astigmatismus.* Arch. f. Ophthalm. XIII. (1.) S. 25—30.

1869.

2107. R. Schirmer. *Contributions à l'histoire de l'astigmatisme et de l'hypermetropie.* Ann. d'Ocul. LXII. S. 202.

1879.

2108. H. Magnus. *Beiträge zur Kenntnifs der physiologischen Optik und der Ophthalmotherapie der Alten. 1. Die Accommodation. 2. Die Myotica.* Klin. Mon.-Bl. XVII. S. 223—232.

1880.

2109. G. Govi. *Nuovo documento relativo alla invenzione dei cannocchiali binocoli.* Bull. di Bibliogr. e di Storia dei sc. mat. e fis. XIII. S. 471—480. — Compt. Rend. Bd. 93. No. 6. S. 301. (1881.)

2110. — *Sur l'inventeur des lunettes binoculaires.* Compt. Rend. Bd. 91. No. 13. S. 547.

1881.

2111. A. Favaro. *Sulla invenzione dei connocchiali binoculari.* Atti d. R. Accad. d. Sc. Torino. XVI.

1884.

2112. R. Schirmer. *Bemerkungen zur Geschichte der Hypermetropie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. 2. S. 185—190.

1885.

2113. F. Horner. *Ueber Brillen aus alter und neuer Zeit.* Neujahrsbl. z. Besten des Waisenhauses in Zürich.

1890.

2114. L. Webster-Fox. *A history of spectacles.* Med. and Surg. Rep. 3. Mai.

1892.

2115. G. Albertotti. *Manoscritto francese del secolo decimosettimo riguardante l'uso degli occhiali.* Modena.

2116. Th. v. Frimmel. *Lionardo da Vinci's Auge.* Repertorium f. Kunstwiss. XV. 4. u. 5. Heft.

1893.

2117. Rjäsan. *Zur Geschichte der Brillen in Rufsland. (Die Brillen der Patriarchen.)* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXI. S. 217—220.

---

§ 12.

Mechanismus der Accommodation.

1. Aenderung der Pupillenweite.

(Siehe § 3. 1 und 2.)

2. Accommodation bei Aphakie.

1872.

2118. F. C. Donders. *Over schijnbare accomodatie bij aphakie.* Onders. ged. in het phys. Lab. d. Utr. hoogesch. 3. reeks. II. 5. S. 125.

2119. Förster. *Accommodationsvermögen bei Aphakie.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. X. S. 39.

1873.

2120. J. Coert. *De schijnbare accomodatie bij aphakie.* Diss. Utrecht. Klin. Mon.-Bl. XI. S. 89.

121. F. C. Donders. *Ueber scheinbare Accommodation bei Aphakie.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 56.
122. F. Mannhardt. *Accommodationsvermögen bei Aphakie.* Klin. Mon.-Bl. XI. S. 87.
123. Woinow. *Das Accommodationsvermögen bei Aphakie.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (3.) S. 107.

1875.

124. H. Schoeler. *Jahresbericht über die Wirksamkeit der Augenklinik.* Berlin. 35 S.

1883.

125. C. Amat. *Théorie de la vision chez les opérés de cataractes.* Journ. de méd. et pharm. de l'Algérie. VIII. S. 50.

1885.

126. A. Frost. *Supposed power of accommodation in aphakic eye.* Lancet. I. S. 756.

1888.

127. E. Scimeni. *Un caso di ectopia della lente et della pupilla a contribuzione del potere accomodativo nell' afachia.* Boll. d'ocul. IX. No. 19. Rev. clin. d'Ocul. S. 265.
128. P. Silex. *Zur Frage der Accommodation des aphakischen Auges.* Arch. f. Augenheilkde. XIX. S. 102.

1889.

129. P. Silex. *On the question of accomodation of the aphakial eye.* Arch. of Ophthalm. XVIII. S. 274.

1893.

130. H. Hofhammer. *Ueber Accommodation bei Aphakischen.* Diss. München.
131. Schloesser. *Ueber Accommodation aphakischer Augen.* Sitzgs.-Ber. d. Ges. f. Morphol. u. Physiol. München. VIII. S. 131.

1894.

132. H. Sattler. *Untersuchungen über die Frage nach dem Vorkommen einer äufseren Accommodation durch Muskeldruck.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (3.) S. 239—282.

3. Mechanismus der Accommodation.

Hier ist auch die Literatur von § 3. 1 und 2 zu beachten.

1611.

33. Kepler. *Dioptrice.* Propos. 26.

1619.

34. Scheiner. *Oculus.* Oeniponti. Lib. III. S. 163.

1637.

35. Cartesius. *Dioptrice.* Lugd. Batav.

1648.

36. V. F. Plempius. *Ophthalmographia.* Lovanii. B. III.

1685.

37. de la Hire. Journ. d. Sçavans S. 398.

1693.

38. Sturm. *Dissertatio visionem ex obscurae camerae tenebris illustrans.* Altdorfii. S. 172.

1697.

39. Sturm. *Dissertatio de presbyopia et myopia.* Altdorfii.

1712.

40. A. F. Walther. *Dissertatio de lente crystallina oculi humani.* Lipsiae. — Auch in Haller's Disput. anat. Vol. IV.

1715.

41. G. Bidloo. *Observationes de oculis et visu variorum animalium.* Ludg. Batav.

1719.

42. Pemberton. *Dissertatio de facultate oculi, qua ad diversas distantias se accommodat.* Lugd. Batav.

1738.

43. J. J. Platner. *De motu ligamenti ciliaris in oculo.* Lipsiae. S. 5.

1742.

2144. J. P. Lobé (Albinus). *Dissertatio de oculo humano.* Lugd. Batav. S. 119. — Auch in Haller's Disput. anat. Vol. VII.

1743.

2145. A. Haller. *Elementa Physiologiae.* T. V. S. 516.
2146. le Moine. *Quaestio an obliqui musculi retinam a crystallino removeant.* Paris.

1746.

2147. P. Camper. *Dissertatio physiologica de quibusdam oculi partibus.* Lugd. Batav. S. 23. — Auch in Haller's Disput. anat. Vol. IV.

1749.

2148. Buffon. *Histoire naturelle.* Paris. T. III. S. 331.

1755.

2149. le Roy. Memoir. de l'Acad. de Paris. S. 594.
2150. Boerhave. *Praelectiones academicae, edit. et not. add. Alb. a Haller.* Taurini Vol. III. S. 121.

1758.

2151. v. Grimm. *Dissertatio de visu.* Gottingae.

1759.

2152. Porterfield. *On the eye.* Edinburgh. Vol. I. S. 450. — Edinb. med. Essays IV. S. 124.

1763.

2153. Molinetti in Hallers Elementa physiologiae. V. S. 511.

1771.

2154. Le Roy. *Mémoire sur le mécanism par lequel l'oeil s'accommode aux différentes distances des objets.* Paris.

1783.

2155. Olbers. *Dissertatio de oculi mutationibus internis.* Gottingae.

1793.

2156. Th. Young. *Observations on vision.* Philos. Trans. P. II. S. 169.

1794.

2157. J. Hunter. *On the crystalline humour of the eye.* Philos. Transact. S. 21.

1795.

2158. Home. Philos. Transact. P. I. S. 1. (Accommodation nach Staaroperation.)

1796.

2159. Home. Philos. Transact. P. I. S. 1.

1797.

2160. Klügel. Reil's Arch. II. S. 51. (Gegen Home.)

1800.

2161. Th. Young. *De corporis humani viribus conservatricibus.* Gottingae. — Philos. Transact. for 1800. S. 146.

1801.

2162. Monro. Altenburger Ann. f. d. Jahr 1801. S. 97.
2163. Himly. *Ophthalmologische Beobachtungen und Untersuchungen.* Bremen.
2164. *Th. Young. *On the mechanisme of the eye.* Philos. Transact. P. I. S. 23*. (Eine Arbeit von bewunderungswürdigem Scharfsinn und Erfindungskraft, welche vollständig geeignet war, schon zu ihrer Zeit den Streit über die Accommodation zu entscheiden, aber durch ihre Kürze oft schwer verständlich wird und aufserdem die vollständigste Kenntnifs der mathematischen Optik voraussetzt.)

1802.

2165. Home. Philos. Transact. P. I. S. 1. (Adaptation bei Staaroperirten.)
2166. J. A. Albers. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Thiere.* Heft 1. Bremen.

1804.

2167. Graefe. Reil's Arch. f. Physiol. IX. S. 231.

1809.

2168. Cuvier. *Vorlesungen über die vergleichende Anatomie.* — Uebers. v. Meckel. Leipzig II. S. 369.

1811.

2169. Wells. Philos. Transact. P. II. — Gilberts Ann. XLIII. S. 129 u. 141.

1816.

170. Magendie. *Précis élémentaire de Physiologie.* I. S. 73. Paris. Uebers. v. Elsässer. Tübingen. 1834. I. S. 54.

1820.

171. G. Parrot. *Entretiens sur la physique.* Dorpat. III. S. 434.

1821.

172. Jacobson. *Suppl. ad Ophthalm.* Kopenhagen.

173. C. H. Weller. *Diätetik für gesunde und schwache Augen.* Berlin. S. 225.

1823.

174. J. Poppe. *Die ganze Lehre vom Sehen.* Tübingen. S. 153.

175. Rudolphi. *Grundrifs der Physiologie.* Berlin. II. Abth. 1. S. 9.

176. Lehot. *Nouvelle théorie de la vision.* Paris.

177. Purkinje. *De examine physiologico organi visus et systematis cutanei.* Vratislaviae. (Entdeckung der Linsenreflexe.)

1824.

178. D. Brewster. Edinb. Journ. of Sc. I. S. 77. — Pogg. Ann. II. S. 271.

179. Simonoff. Magendie's Jonrnal d. Phys. T. IV.

1825.

180. Purkinje. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* Berlin. S. 128*.

1826.

181. J. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig. S. 212.

182. Hueck. *Dissertatio de mutationibus oculi internis.* Dorpati.

183. Mile. Magendie's Journal d. Phys. VI. S. 166.

1828.

184. Treviranus. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge des Menschen und der Thiere.* Heft I.

1831.

185. Morton. Americ. Journ. of med. sc. Novbr.

1832.

186. Ritter. Graefe u. Walther's Journ. VIII. S. 347.

187. Fr. Arnold. *Untersuchungen über das Auge des Menschen.* Heidelberg. S. 38.

188. G. J. Luchtman. *Dissertatio de mutatione axis oculi secundum diversam distantiam objecti ejusque causa.* Traject. ad Rhenum.

1833.

189. Th. Smith. Philos. Mag. V. 3. No. 13. — Schmidt's Jahrb. d. Med. 1834. I. S. 6.

1834.

190. Dugés Institut. No. 73.

1835.

191. Serre. Bullet. de Thérap. T. VIII. L. 4.

1836.

192. Volkmann. *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* S. 109.

193. R. H. Kohlrausch. *Ueber Treviranus' Ansichten vom deutlichen Sehen in der Nähe und Ferne.* Rinteln.

1837.

194. Sanson. *Leçons sur les maladies des yeux, publiées par Bardinot et Pigne.* Paris. (Ueber die Reflexe der Krystalllinse.)

195. Mile. Pogg. Ann. XLII. S. 37 u. 235.

1838.

196. Pasquet, Froriep's Notizen. Bd. VI. No. 2.

1839.

197. J. F. Fries. *Ueber den optischen Mittelpunkt im menschlichen Auge, nebst allgemeinen Bemerkungen über die Theorie des Sehens.* Jena. S. 27.

1840.

198. Neuber. Osann's Zeitschr. Heft 7—12. S. 42.

1841.

199. Hueck. *Die Bewegung der Krystalllinse.* Leipzig.

200. Bonnet. Frorieps Neue Notizen. S. 233.

1842.

201. de Haldat. Compt. Rend. 1842.

202. Adda. Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XII. S. 94.

2203. A. Burow. *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* S. 94 bis 177*

2204. S. Pappenheim. *Die specielle Gewebelehre des Auges.* Breslau.

2205. Thalheim. *De oculi mechanismo, imprimis vi objectis se accommodandi.* Inaug.-Diss. Halle.

1844.

2206. Moser. Repert. d. Phys. V. S. 364.

1845.

2207. Sturm. *Sur la théorie de la vision.* Compt. Rend. XX. S. 554, 761 u. 1238. — Pogg. Ann. LXV. S. 116.

2208. Forbes. Compt. Rend. XX. S. 61. — Institut. No. 576. S. 15. No. 578. S. 32.

2209. De Haldat. Compt. Rend. XX. S. 458 u. 1561. — Institut. No. 596. S. 90 (gegen Forbes).

1846.

2210. E. Brücke. *Ueber den Musculus Cramptonianus und den Spannmuskel der Chorioidea.* Berl. Ber. 29. Mai. Müllers Arch. S. 370.

2211. F. C. Donders. Ruete Leerb. d. Ophthalm. S. 110.

2212. H. Meyer. Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. Bd. V. (Ursprung der Linsenreflexe.)

2213. Senff in *R. Wagner's Handwörterb. d. Physiol.* Art.: Sehen von Volkmann. S. 303.

2214. Besio. Giorn. Arcad. CV. 3. Institut. No. 666. S. 338.

2215. J. G. Crahay. Bullet. de Bruxelles. XII. 2. S. 311. — Institut. No. 644. S. 151.

1847.

2216. L. L. Vallée. Compt. Rend. XXV. S. 501.

1848.

2217. Valentin. *Lehrbuch der Physiologie.* II. Abth. 2. S. 122.

2218. Szokalsky in Griesinger's Arch. f. physiol. Heilkde. VII. S. 694.

1849.

2219. M. Langenbeck. *Klinische Beiträge aus dem Gebiete der Chirurgie und Ophthalmologie.* Göttingen.

2220. F. C. Donders. Nederl. Lancet. S. 146.

1850.

2221. F. C. Donders. *Reflectieproef van Purkinje en Sanson en accommodatie van het oog, naar Max Langenbeck.* Nederl. Lancet. S. 132.

2222. Jos. Engel. Prag. Vierteljahresschr. XXV. S. 167 u. 208.

2223. H. Mayer. Prag. Vierteljahresschr. XXVIII. Aufserordentl. Beil. u. XXXII. S. 92*.

2224. Henle. Canstatt's Jahresber. f. 1849. Erlangen. S. 71.

2225. W. C. Wallace. *The accommodation of the eye to distances.* New-York.

2226. C. Weber. *Nonnullae disquisitiones quae ad facultatem oculum rebus longinquis et propinquis accommodandi spectant.* Marburgi.

2227. C. Stellwag von Carion. Wien. Zeitschr. d. Ges. d. Ärzte. VI. S. 125 u. 138.

2228. A. Hannover. *Bidrag til Oiets Anatomie, Physiologie og Pathologie.* Kjöbenhavn. S. III.

1851.

2229. F. C. Donders. *Ophthalmologische aanteekingen. Accommodatievermogen.* Nederl. Lancet. S. 600.

2230. H. Helmholtz. *Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge.* Berlin. S. 37.*

2231. Listing. Art.: *Dioptrik des Auges* in R. Wagners Handwörterbuch d. Physiol. IV. S. 498*.

2232. A. Cramer. Tidschr. d. Maatschappy vor Geneeskunde. W. 11. S. 115. Nederl. Lancet. Ser. 2. W. 1. S. 529.

2233. Clavel. Compt. Rend. XXXIII. S. 259. — Arch. des sc. phys. et natur. XIX. S. 76.

1852.

2234. F. C. Donders. Nederl. Lancet. Febr. S. 529.

1853.

2235. H. Helmholtz. *Ueber eine bisher unbekannte Veränderung am menschlichen Auge bei veränderter Accommodation.* Mon.-Ber. d. Akad. zu Berlin. 3. Febr. S. 137—139.

2236. *A. Cramer. *Het Accommodatievermogen der Oogen physiologisch toegelicht.* Haarlem.
2237. L. u. A. Fick in J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 449*.

1854.

2238. F. C. Donders. Onderz. ged. in het Physiol. Laborat. der Utrecht'sche Hoogeschool, Jaar VI. S. 61.
2239. J. Czermak. Prag. Vierteljahresschr. XLIII. S. 109.
2240. A. Hasenpat. *De accommodandi facultate.* Berolini.

1855.

241. A. Cramer. *Physiologische Abhandlung über das Accommodationsvermögen der Augen.* Aus d. Holländ. übersetzt v. Doden, eingeführt durch Stellwag v. Carion. (Preisschr.) Leer.
242. *H. Helmholtz. *Ueber die Accommodation des Auges.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 1. (2.) S. 1—74.
243. Ruete *De Irideremia congenita.* Progr. acad. Leipzig. — Virchow's Arch. XII. S. 342.
244. van Reeken. *Ontleedkundig Onderzoek van den toestel voor accommodatie van het oog.* Onderzoekingen gedaan in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogeschool. Jaar. VII. S. 248—286.

1856.

245. J. P. Maunoir. *Mémoire sur l'ajustement de l'œil aux différentes distances.* Arch. d. sc. phys. XXXI. S. 309—316.
46. Breton. *Adaptation de la vue aux différentes distances, obtenue par une compression mécanique, exercée sur le globe oculaire.* Compt. Rend. XLIII. S. 1161—1162. — Inst. S. 455. — Cosmos. IX. S. 690. X. S. 29—30.
47. Goodsir. *Notice respecting recent discoveries on the adjustment of the eye to distinct vision.* Proc. of Edinb. Soc. III. S. 343—345. — Edinb. Journ. (2.) III. S. 339—342.

1857.

48. Stoltz. *Accommodation artificielle ou mécanique de l'œil à toutes les distances.* Compt. Rend. XLIV. S. 388—390, 618—620. — Arch. d. sc. phys. XXXV. S. 139. — Cimento. VI. S. 154—155. — Cosmos. X. S. 320—321.
49. Bahr. *De oculi accommodatione experimenta nova.* Diss. Berlin.
50. Th. H. Berger. *De oculi humani functione accommodativa.* Berlin.
51. H. Müller. *Ueber einen ringförmigen Muskel am Ciliarkörper.* Arch. f. Ophthalm. III. (1.) IV. (2.) S. 277—285.

1858.

52. W. Manz. *Anatomisch-physiologische Untersuchungen über die Accommodation des Fischauges.* Diss. Freiburg.

1859.

53. J. Mannhardt. *Bemerkungen über den Accommodationsmuskel und die Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. IV. (1.) S. 269—285.
54. Ch. Archer. *On the adaptation of the human eye to varying distances.* Phil. Mag. (4.) XVII. S. 224—225.
55. Respighi. *Sull' accommodamento dell' occhio humano per la visione distinta.* Mem. di Bologna. VIII. 355—389. — Zeitschr. f. Chem. S. 10—18.
56. Magni. *Dell' addatamento dell'occhio umano alla visione distinta.* Cimento. X. S. 12—20.

1860.

57. J. H. Knapp. *Über die Lage und Krümmung der Oberflächen der menschlichen Krystalllinse und den Einfluſs ihrer Veränderungen bei der Accommodation auf die Dioptrik des Auges.* Arch. f. Ophthalm. VI. (2.) S. 1—52. VII. (2.) S. 136—138.
8. W. Henke. *Der Mechanismus der Accommodation für Nähe und Ferne.* Arch. f. Ophthalm. VI. 2. S. 53—72.
9. L. Happe. *Die Bestimmungen des Sehbereichs und dessen Correction, nebst Erläuterungen über den Mechanismus der Accommodation.* Braunschweig.

1861.

0. A. v. Graefe. *Fall von acquirirter Aniridie als Beitrag zur Accommodationslehre.* Arch. f. Ophthalm. VII. (2.) S. 150—161.

1863.

2261. O. Becker. *Lage und Function der Ciliarfortsätze im lebenden Menschenauge.* Wien. Med. Jahrb.
2262. Witter. *Ueber den Grund der accommodatorischen Formveränderung der Linse.* Arch. f. Ophthalm. IX. (1.) S. 207.

1864.

2263. E. Förster. *Zur Kenntnifs des Accommodationsmechanismus.* Sitzgs-Ber. d. Ophthalm. Ges. Erlangen. S. 75—86. — Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. Septbr. bis Decbr.

1865.

2264. B. Rosow. *Zur Ophthalmometrie.* Arch. f. Ophthalm. XI. (2.) S. 129—134.
2265. L. Mandelstamm. *Zur Ophthalmometrie.* Arch. f. Ophthalm. XI. (2.) S. 259—265.
2266. Heiberg. *Zur Anatomie und Physiologie der Zonula Zinnii.* Arch. f. Ophthalm. XI. 3. S. 168.
2267. F. C. Donders. *Pupil-beweging bij accommodatie.* Nederl. Arch. voor Genees- en Naturk. II.

1866.

2268. v. Trautvetter. *Ueber den Nerv der Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. XII. (1.) S. 95.
2269. C. Völkers u. V. Hensen. *Studien über die Accommodation.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 46.

1868.

2270. A. Coccius. *Der Mechanismus der Accommodation des menschlichen Auges nach Beobachtungen im Leben.* Leipzig.
2271. H. Dor. *Ueber einen aufsergewöhnlichen Fall von Lähmung der Accommodation.* Bern. Mitth. S. 24—25.
2272. V. Hensen u. C. Völckers. *Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Accommodation.* Kiel.
2273. H. Kaiser. *Die Mechanik der Accommodation des Auges.* Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 350.
2274. A. Pliqué. *Étude sur le mécanisme des mouvements intraoculaires et théorie de l'accommodation.* Paris.
2275. Schumann. *Ueber den Mechanismus der Accommodation des menschlichen Auges.* Dresden.

1869.

2276. M. Woinow. *Zur Frage über die Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. XV. (2.) S. 167—172.

1870.

2277. E. Adamück. *Bijdrage tot het mechanisme der accommodatie.* Versl. Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 11. S. 165. — Nederl. Arch. v. Gen. en Naturk. V. S. 453.
2278. — *Zur Frage über den Mechanismus der Accommodation.* Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 292.
2279. — *Bijdrage tot de physiologie van den N. oculomotorius.* Ond. i. h. physiol. Lab. te Utrecht. II. 3. S. 398. — Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 65.
2280. H. Heiberg. *Die Peripherie der Descemet'schen Haut und ihr Einflufs auf die Accommodation.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 80.
2281. M. Langenbeck. *Zur Lehre von der Accommodation.* Memorabilien. S. 197.
2282. J. O. Macdonald. *On the minute anatomy of some parts concerned in the functions of accommodation to distance, with physiologic notes.* The quarterl. Journ. of med. sc. July. S. 230.
2283. J. Mannhardt. *Bemerkungen über den Accommodationsmuskel und die Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. S. 269.
2284. R. Schirmer. *Beitrag zur Lehre von der Accommodation.* Berl. klin. Wochenschr. S. 232.

1871.

2285. E. Adamück. *Bijdrage tot het mechanisme der accommodatie.* Onderz. in het physiol. Lab. te Utrecht II. 3. S. 403.
2286. E. Adamück u. M. Woinow. *Ueber die Pupillen-Veränderungen bei der Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (1.) S. 158.
2287. X. Galezowski. *Quelques aperçus sur l'accommodation de l'œil.* Gaz. hebdom. No. 20.

1872.

288. J. Fränkl. *Der Accommodationsapparat des menschlichen Auges.* Oesterr. Zeitschr. f. prakt. Heilkde.

289. F. P. Le Roux. *Sur la multiplicité des images oculaires et la théorie de l'accommodation.* Compt. Rend. Bd. 75. S. 1268—71. — Mondes. (2.) XXIX. S. 549.

1873.

290. V. Hensen u. C. Völckers. *Ueber die Accommodationsbewegung der Chorioidea im Auge des Menschen, des Affen und der Katze.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 156.

291. A. Norton. *On the accommodation of vision and the anatomy of the ciliary body.* Proc. of the Roy. Soc. of London. XXI. S. 423—425.

292. — *The mechanisme of the accommodation of the eye.* Brit. med. Journ. 6. Decbr.

293. Pr. Smith. *The mechanism of the accommodation of the eye.* Brit. med. Journ. 6. Decbr.

1874.

94. Duwez. *Du mécanisme de l'accommodation.* Ann. d'Ocul. LXXI. S. 136.

95. W. Krenchel. *Ueber die Wirkung des Muscarins auf Accommodation und Pupille.* Arch. f. Ophthalm. XX. (1.) S. 127—134.

1875.

96. Dufour. *Rupture du ligament suspenseur du cristallin et mécanisme de l'accommodation.* Bull. de la Soc. méd. de la Suisse romande.

97. J. Guérin. *La doctrine de l'accommodation.* Gaz. des hôp. S. 1150.

98. G. Reuling. *Angeborener Mangel der Iris auf beiden Augen mit vollständiger Accommodationsfähigkeit.* Americ. Journ. of Nat. Sc. Bd. 137. S. 143.

99. Warlomont u. Nuel. *De la fonction du muscle ciliaire.* Ann. d'Ocul. LXXIV. Mai u. Juni.

1876.

00. Bäuerlein. *Zur Accommodation des menschlichen Auges.* Würzburg.

01. A. Drouin. *Note pour démontrer qu'il n'y a pas de rapport direct entre l'état de l'accommodation de l'œil et le diamètre de la pupille.* Gaz. méd. de Paris. No. 28. S. 329.

02. Hjort. *Die Ciliarfortsätze während der Accommodation.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XIV. S. 205—222.

03. L. V. Poulain. *Étude sur l'accommodation de l'œil.* Paris. Masson. 31 S.

1877.

4. E. Landolt. *Sur l'accommodation.* Progr. Med. No. 6.

1878.

5. E. Adamück. *Einige Bemerkungen in Beziehung der Arbeit von Hensen und Völckers „Ueber den Ursprung der Accommodationsnerven".* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 229—233.

6. Domec. *Die Accommodationstheorie Rosset's.* Americ. Journ. Octbr.

7. V. Hensen u. C. Völckers. *Ueber den Ursprung der Accommodationsnerven.* Arch. f. Ophthalm. XXIV. S. 1—28.

8. J. Hock. *Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung der meridionalen (Längs-) Fasern des Ciliarmuskels.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 43.

9. Rosset. *Der Accommodationsmuskel und seine Wirkungsweise.* Americ. Journ. N. S. CLII. S. 349. — Centralbl. f. prakt. Augenheildke. 1879. S 115.

1879.

Bouchard. *Ueber Accommodation des Auges.* Rec. de mém. de méd. milit. XXXIV.

Coulon. *Étude sur le mécanisme de l'accommodation.* Thèse de Paris.

Domec. *Der Accommodationsmuskel und seine Wirkungsweise.* Rec. d'Ophthalm.

D. Hunt. *A criticism of Dr. de Rosset's theory of the action of the muscle of accomodation.* New-York. med. Journ. No. 1.

G. Vilmain. *Essai sur la physiologie de l'accomodation.* Thèse de Paris. 80 S.

1880.

A. Angelucci. *Sulla durata degli atti accommodativi della lente comparati coi tempi impiegati dell' accommodazione subiettiva e dai movimenti dell' iride.* Arch. d'Ottalm. IX. S. 304—320.

Angelucci u. Aubert. *Beobachtungen über die zur Accommodation des Auges und die zur accommodativen Krümmungsveränderung der vorderen Linsenfläche erforderlichen Zeiten.* Pflüger's Arch. XXII. S. 69—86.

2317. W. E. Briggs. *Notiz über die Bedeutung des Ligamentum iridis pectinatu* Wien. Ber. LXXIX. (3.)
2318. H. Schmidt-Rimpler. *Accommodation.* Real-Encykl. d. ges. Heilkde. Herausg. v. A. Eulenburg. I. S. 572—578.
2319. — *Die Accommodationsgeschwindigkeit des menschlichen Auges.* Arch. f. Ophthal XXVI. (1.) S. 103—114. — Sitzgs.-Ber. d. Ges. z. Beförd. d. ges. Naturw. zu Marbu No. 6. Aug. 1879.

1881.

2320. E. Emmert. *Der Mechanismus der Accommodation des menschlichen Auges.* Ar f. Augenheilkde. X. S. 342—365 u. 407—429.

1882.

2321. C. Ayres. *The physiology of accommodation.* New-York. med. Journ. XXXV. S. 4
2322. E. Emmert. *Die Gröfse des Gesichtsfeldes in Beziehung zur Accommodation.* Ar f. Augenheilkde. XI.
2323. S. Exner. *Ueber die Function des Musculus Cramptonianus.* Wien. Akad. Ber. 85. (S. 1—10.
2324. E. Javal. *Théorie de l'accommodation.* Soc. de biol. 6. Mai. Gaz. d. hôp. S. 4

1883.

2325. H. Cohn. *Ein Modell des Accommodationsmechanismus.* Centralbl. f. prakt. Aug heilkde. April.
2326. Dessauer. *Zur Zonulafrage.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXI. S. 89—99.
2327. Hocquard u. A. Masson. *Étude sur les rapports, la forme et le mode de susp sion du cristallin à l'état physiologique.* Arch. d'Ophthalm. III. S. 97.
2328. E. Javal. *Déformation cristallienne et cornéenne dans l'accommodation.* Soc. de biol.
2329. Kazaurow. *Ueber den Einflufs der Accommodation des Auges auf Veränderung Grenzen des Gesichtsfeldes.* Wratsch No. 2.

1884.

2330. A. Hoffmann. *Ueber Beziehungen der Refraction zu den Muskelverhältnissen Auges.* Strafsburg. 71 S. — Arch. f. Ophthalm. XXX. 3. S. 301.

1885.

2331. J. W. Barret. *The velocity of accommodation.* Journ. of Phys. VI. S. 46.
2332. Deeren. *Étude sur le mecanisme de l'accommodation.* Rec. d'Ophthalm. S. 6
2333. H. Virchow. *Die Accommodation bei den Thieren.* Arch. f. Phys. S. 571.
2334. Weidlich. *Accommodation und Pupillenspiel.* Arch. f. Augenheilkde. XV. S. 1

1886.

2335. W. B. Canfield. *Vergleichend anatomische Studien über den Accommodatio apparat des Vogelauges.* Arch. f. mikr. Anat. Bd. 28. S. 121—170.
2336. E. E. Furney. *A theory of the mechanism of accommodation.* Americ. Journ. Ophthalm. III. S. 9.
2337. Giraud-Teulon. *Rapport sur un mémoire du docteur Zimmermann, relatif à nouvelle théorie de l'accommodation de l'oeil aux distances.* Bull. Acad. de m XV. S. 440.
2338. Randall. *The mechanism of accommodation and a model for its demonstrati* Americ. Journ. of Ophthalm. III. S. 91.
2339. Schneller. *Accommodation durch Axenverlängerung des Auges.* Tagebl. 59. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 390.
2340. W. Schön. *Vorrichtung zur Veranschaulichung der Accommodation.* Tagebl. 59. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 415.
2341. — *Ueberanstrengung der Accommodation und deren Folgezustände.* Arch. f. Aug heilkde. XVII. S. 1. — Tagebl. d. 59. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Berl S. 385.
2342. Zimmermann. *Nouveaux éléments à la théorie musculaire de l'accommodation.* Lo méd. V. S. 60.

1887.

2343. W. J. Collins. *An argument in favor of meridional accommodation.* Ophthal Hosp. Reports. XI. S. 343.
2344. Sattler. *Anatomische und physiologische Beiträge zur Accommodation.* Ber. XIX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 3.

2345. W. Schön. a) *Accommodationsmodell.* b) *Ueber die Veränderungen des Auges in Folge der Accommodation bei fortschreitendem Lebensalter.* Ber. d. XIX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 162.

2346. — *Der Accommodationsmechanismus.* Du Bois' Arch. f. Physiol. S. 224.

1888.

2347. H. Aubert. *Über die Schön'sche Theorie des Mechanismus der Accommodation.* Rostocker Ztg. No. 281.

2348. A. Charpentier. *Influence inhibitoire de l'excitation de la rétine sur la contractions des muscles de l'œil.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 596.

2349. — *Influences diverses sur la contraction des muscles de l'œil.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 621.

2350. W. H. Jessop. *The pupil and accommodation.* Ophthalm. Rev. S. 161—225.

1889.

2351. Gallenga. *Della misura del tempo nelle determinazione dell' accomodamento.* Parma. L. Battei.

2352. Hoquart. *Physiologie, anatomie et pathologie de l'appareil accommodateur.* Arch. d'Ophthalm. IX. S. 358.

1890.

2353. C. Decker. *Accommodationskrampf, hervorgerufen durch einen Fremdkörper, der seit sechs Jahren im Glaskörper liegt, ohne weitere Reizerscheinungen zu verursachen.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXVIII. S. 500—501.

2354. G. C. Harlan. *A case of traumatic dislocation of the lens illustrating the theory of visual accommodation.* Med. News. Philadelphia. VI. S. 354.

2355. J. P. Morat und M. Doyon. *Le grand sympathique nerf de l'accommodation pour la vision des objects éloignés.* Compt. Rend. CXII. S. 1327—1329.

1892.

2356. Th. Beer. *Studien über die Accommodation des Vogelauges.* Pflüger's Arch. Bd. 53. S. 175—237.

2357. C. Nicolai. *Over het mechanisme der accommodatie.* Erste Vergadering van het Nederlandsch Oogheelkundig Gezelschap Rotterdam. Weekblad. No. 26. S. 911.

2358. C. E. Seashore. *On monocular accommodation-time.* Studies from the Yale psychol. Labor. 1892/93. S. 56.

2359. M. Tscherning. *Note sur un changement jusqu'à présent inconnu, que subit le cristallin, pendant l'accommodation.* Arch. de Phys. norm. et pathol. Série V. T. 4. S. 158—164. — Arch. d'ophthalm. XII. S. 168—174.

1893.

2360. Th. Guilloz. *Sur l'existence d'un astigmatisme cristallinien accommodatif.* Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 676.

2361. A. Michel. *Beitrag zur Frage der Accommodation.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXI. S. 223—251, 267—296.

2362. M. Tscherning. *Le mécanisme de l'accommodation.* Extrait d. Ann. de la Policl. de Paris.

1894.

2363. Th. Beer. *Die Accommodation des Fischauges.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Phys. Bd. 58. S. 523—650.

2364. J. Bjerrum. *Accommodationsmechanismen.* Med. Aarsskrift. Kopenhagen.

2365. O. Lange. *Zur Lehre von der Accommodationswirkung auf das Auge.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXII. S. 94—96.

2366. C. Nicolai. *Ueber den Mechanismus der Accommodation.* Diss. Nymwegen u. Heidelberg. 29 S.

2367. M. Tscherning. *Etude sur le mécanisme de l'accommodation.* Arch. de Phys. (5.) VI. S. 40—53.

2367a. — *La déformation de la cristalloïde antérieure pendant l'accommodation.* Compt. Rend. de la Soc. fr. d'Ophthalm.

§ 13.

Von der Farbenzerstreuung im Auge.

1704.

2368. J. Newton. *Optics.* B. I. P. II. Prop. VIII*.

1747.

2369. L. Euler. *Sur la perfection des verres objectifs des lunettes.* Mém. de Berlin. S. 2

1753.

2370. L. Euler. *Examen d'une controverse sur la loi de réfraction des rayons de différen couleurs par rapport à la diversité des milieux transparents par lesquels ils s transmis.* Mém. de Berlin. 1753. S. 249.

1754.

2371. L. Euler. *Recherches physiques sur la diverse réfrangibilité des rayons de lumi* Mém. de Berlin. 1754. S. 260.

1767.

2372. d'Alembert. *Nouv. recherches sur les verres optiques.* Mém. de l'Acad. de Pa S. 81*.

1789.

2373. Maskelyne. Phil. Transact. LXXIX. S. 256*.

1798.

2374. Comparetti. *Observationes de coloribus apparentibus.* Patavini.

1801.

2375. Th. Young. Phil. Transact. P. I. S. 50*.

1805.

2376. Mollweide. Gilbert's Ann. XVII. S. 328 u. XXX. S. 220.

1814.

2377. *J. Fraunhofer. Gilbert's Ann. LVI. S. 304. — Schumacher's astronom. A Altona. 1823. Heft II. S. 39.

1826.

2378. J. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinns.* Leipzig. S. 195 u. 41

1830.

2379. *Tourtual. *Ueber Chromasie des Auges.* Meckel's Arch. S. 129*.

1837.

2380. Mile. Pogg. Ann. XLII. S. 64.

1842.

2381. A. Niedt. *De dioptricis oculi coloribus ejusque polyopia.* Diss. Berlin.

1847.

2382. A. Matthiessen. Compt. Rend. XXIV. S. 875; — Institut. No. 698. S. 162; Pogg. Ann. LXXI. S. 578*; — Froriep's Notizen. III. S. 341; — Arch. d. phys. et nat. V. S. 221; — Berl. Ber. S. 183*.

2383. L. L. Vallée. Compt. Rend. XXIV. S. 1096; — Berl. Ber. S. 184*.

1849.

2384. J. D. Forbes. Proc. Edinb. Roy. Soc. Decbr. 3. S. 251; — Sillimann's Journ. XIII. S. 413; Berl. Ber. 1850. S. 492*.

1852.

2385. L. L. Vallée. Compt. Rend. XXXIV. S. 321; — Berl. Ber. S. 308*.

1853.

2386. L. L. Vallée. *Sur l'achromatisme de l'œil.* Compt. Rend. XXXVI. S. 142—1 480—482.

1855.

2387. Czermak. *Zur Chromasie des Auges.* Wien. Sitzgs.-Ber. XVII. S. 563.

1856.

2388. A. Fick. *Einige Versuche über die chromatische Abweichung des menschlic Auges.* Arch. f. Ophthalm. II. 2. S. 70—76.

1858.

2389. F. Laser. *De achromasia oculi humani.* Regiomani.

1862.

2390. F. P. Le-Roux. *Expériences destinées à mettre en évidence le défaut d'achromatisme de l'œil.* Ann. de chimie. (3.) LXVI. S. 173—182. — Cosmos. XX. S. 638—639.

2391. Trouessart. *Défaut d'achromatisme de l'œil.* Presse scientifique. S. 72—74.

1863.

2392. B. A. Pope. *Das Farbenspectrum als Mittel zur Messung der Accommodation und der chromatischen Abweichung des Auges.* Arch. f. Ophthalm. IX. (1.) S. 41.

1867.

2393. Trouessart. *Achromatisme de l'œil.* Mondes. (2.) XIV. S. 591—595.

1868.

2394. W. v. Bezold. *Ueber Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut.* Arch. f. Ophthalm. XIV. (2.) S. 1.

1869.

2395. W. v. Bezold. *Ueber objective Darstellung von Zerstreuungsbildern.* Arch. f. Ophthalm. XV. (3.) S. 281—283.

2396. — *Versuche über Zerstreuungsbilder.* Pogg. Ann. Bd. 138. S. 554—560.

1870.

2397. W. v. Bezold. *Sur les images de diffusion.* Ann. de chim. (4.) XX. S. 225.

1875.

2398. M' Leod. *Some observations on the defects of the human eye as regards achromatism.* Chem. News. XXXI. S. 170. Phys. Soc. April 1875.

1877.

2399. S. P. Thompson. *On the chromatique aberration of the eye in relation to the perception of distance.* Philos. Mag. Juli 1877.

1880.

2400. Prompt. *Note sur le défaut de l'achromatisme de l'œil.* Arch. de physiol. Jan.—Febr.

1881.

2401. Provenzali. *Sull' acromatismo dell' occhio.* Atti dell' Acc. pont. de Nuovi Lincei. XXXIV. Sess. I—III. Roma.

1882.

2402. Provenzali. *Sull' acromatismo dell' occhio.* Riv. scientif ind. XIII. No. 21—22.

1887.

2403. O. Tumlirz. *Ueber ein einfaches Verfahren, die Farbenzerstreuung des Auges direct zu sehen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 394.

2404. M. Wolf. *Ein Versuch zur Berechnung der chromatischen Längenabweichung des menschlichen Auges.* Ber. d. 19. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 39.

1888.

2405. M. Wolf. *Ueber die Farbenzerstreuung im Auge.* Wiedem. Ann. Bd. XXXIII. S. 548.

---

§ 14.

Monochromatische Abweichungen.

1. Aeltere Litteratur.

1694.

[24]06. de la Hire. *Accidens de la vue.* Mém. de l'Acad. de Paris. S. 400.

1738.

[24]07. Jurin. *Essay on distinct and indistinct vision.* Smith's Optics. S. 156.

1739.

[24]08. Helsham. *A course of lectures in natural philosophy.* London.

1740.

2409. Wintringham. *Experimental inquiry on some parts of the animal structure.*

1801.

2410. Th. Young. *On the mechanism of the eye.* Philos. Transact. for 1801. I. S. 43

1809.

2411. Hassenfratz. *Sur la forme apparente des étoiles et des lumières, vues à une trè grande distance et sous un très-petit diamètre.* Ann. de Chimie. T. LXXII. S.

1810.

2412. G. H. Gerson. *De forma corneae oculi humani deque singulari visus phenomen* Gottingae.

1818.

2413. Fischer. *Über gewisse Gesichtserscheinungen.* Berliner Denkschriften für 181 u. 1819. S. 46.

1819.

2414. Purkinje. *Beiträge zur Kenntnifs des Sehens.* Prag. S. 113—119*.

1824.

2415. Péclet. Ann. d. Chimie et d. Phys. LIV. S. 379; Pogg. Ann. XXXIV. S. 55

2416. Aimée. Ann. d. Chimie et d. Phys. LVI. S. 108.

1825.

2417. G. B. Airy. Transact. of the Cambridge Phil. Soc. Vol. II. S. 267—271.

2418. Purkinje. *Neue Beiträge zur Kenntnifs des Sehens.* Berlin. S. 139—146, 173*.

2419. D. Brewster. Edinb. Journ. of Sc. XIV. S. 322. (Ueber Airy's Auge.)

1830.

2420. F. Szokalski. *Sur la diplopie unioculaire ou double vision d'un œil.* Diss. Par.

1842.

2421. A. Niedt. *De dioptricis oculi coloribus ejusque Polyopia.* Diss. Berolini.

1845.

2422. Guérard. Institut. No. 581. S. 64.

2423. Sturm. *Mémoire sur la théorie de la vision.* Compt. Rend. T. XX. S. 554, 76 u. 1238.

1846.

2424. Volkmann. Art.: *Sehen,* in R. Wagner's Handwörterb. f. Physiologie.

1847.

2425. Challis. Phil. Mag. (3.) XXX. S. 366; — Transact. of the Cambr. Phil. Soc. I

1848.

2426. H. Meyer. Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. V. S. 368.

2427. Heineken. Phil. Mag. (3.) XXXII. S. 318.

2428. Hamilton. Froriep's Notizen. VII. S. 219.

2429. Schnyder. Verh. d. schweiz. nat. Ges. S. 15.

1849.

2430. Wallmark. Oefvers. af Akad. förhandlingar. S. 41; — Pogg. Ann. LXXXII. S. 12

1850.

2431. Cranmore. Phil. Mag. (3.) XXXVI. S. 485.

2432. Baudrimont. Compt. Rend. de l'Acad. d. sc. XXXIII. S. 496; Institut. No. 931; - Phil. Mag. (4.) II. S. 575.

1851.

2433. A. Beer. *Über den Hof um Kerzenflammen.* Pogg. Ann. LXXXIV. S. 518.

2434. A. Fick. *De errore optico quodam asymmetria bulbi oculi effecto.* Marburg. Aus in Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. Neue Folge. II. S. 83.

1852.

2435. *Fliedner. *Beobachtungen über Zerstreuungsbilder im Auge, sowie über die Theor des Sehens.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 321*, 460*. LXXXVI. 336*; Moigno Cosmo I. S. 333.

2436. Trouessart. Compt. Rend. d. l'Acad. d. sc. XXXV. S. 134—136, 398; — Arch. d Genève. XX. S. 305; — Institut. S. 304.

2437. Stellwag von Carion. *Ueber doppelte Brechung und davon abhängige Polarisatio des Lichtes im menschlichen Auge.* Wien. Sitzgs.-Ber. VIII. S. 82; — Denkschr. d k. k. Acad. in Wien. V. 2. S. 172; — Zeitschr. d. Aerzte zu Wien. 1853. Heft 1 u. 11; — Fechner's Centr.-Bl. 1854. S. 281—292.

2438. A. Müller. *Ueber das Beschauen der Landschaften mit normaler und abgeänderter Augenstellung. (Angeblich von Astigmatismus herrührend.)* Pogg. Ann. LXXXVI. S. 147—152. — Cosmos. I. S. 336.
2439. A. Beer. *Ueber den optischen Versuch des Herrn Libri.* Pogg. Ann. LXXXVII. S. 115—120.
2440. J. Hippesley. *Phenomena of light.* Athen. S. 1069—1070 u. 1368.
2441. R. W. H. Hardy. *Phenomena of light.* Athen. S. 1306.

1853.

2442. G. Th. Fechner. *Ueber einige Verschiedenheiten des Sehens in verticalem und horizontalem Sinne nach verschiedenen Beobachtungen.* Fechner's Centralbl. S. 73—85, 96—99, 374—379 u. 558—561.
2443. L. L. Valée. *Théorie de l'œil.* Compt. Rend. XXXVI. S. 769—773 u. 865—867.
2444. Fliedner. *Zur Theorie des Sehens.* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 29—44.
2445. H. Meyer. *Ueber die sphärische Abweichung des menschlichen Auges.* Pogg. Ann. LXXXIX. S. 429 u. 540—568.
2446. A. Beer. *Ueber den Hof um Kerzenflammen.* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 595—597.
2447. Powell. *On a peculiarity of vision.* Report of the Brit. Ass. 1852. 2. S. 11.

1854.

2448. J. P. Depigny. *(Hof um Kerzenflammen.)* Arch. d. sc. phys. XXVI. S. 166—172.
2449. A. Fick. Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. N. F. V. S. 277.
2450. J. Gut. *Ueber Doppeltsehen mit einem Auge.* Diss. Zürich. — Henle und Pfeuffer's Zeitschr. (2.) IV. S. 395—400.

1855.

2451. *Ueber den Gang der Lichtstrahlen im Auge.* Verh. d. naturf. Ges. in Basel. I. S. 269—282. Arch. d. sc. phys. XXXII. S. 145—146.
2452. H. Meyer. *Ueber den die Flamme eines Lichts umgebenden Hof u. s. w.* Pogg. Ann. XCVI. S. 235—262, 603—607 u. 607—609.

1856.

2453. H. Meyer. *Ueber die Strahlen, die ein leuchtender Punkt im Auge erzeugt.* Pogg. Ann. XCVII. S. 233—260. XCVIII. S. 214—242.

1857.

2454. van der Willigen. *Eine Lichterscheinung im Auge.* Pogg. Ann. CII. S. 175 bis 176.
2455. J. Tyndall. Philos. Mag. (4.) XI. S. 332. (Ein Fall, wo Interferenzringe im Gesichtsfelde erschienen, ähnlich denen eines mit Lycopodium bepulverten Glases.)

1858.

2456. G. M. Cavallieri. *Sulla cagione del vedere le stelle e i punti luminosi affetti da raggi.* Cimento. VIII. S. 321—360.

1859.

2457. Knapp. *Die Krümmung der Hornhaut des menschlichen Auges.* Heidelberg.

1860.

2458. F. Zöllner. *Beiträge zur Kenntnifs der chromatischen und monochromatischen Abweichung des menschlichen Auges.* Pogg. Ann. CXI. S. 329—336. — Ann. de chim. (3.) LX. S. 506—509.

2. Regulärer Astigmatismus.

Weitere Litteratur über Hornhautastigmatismus ist in § 2 angegeben.

1860.

2459. Wharton Jones. *Analysis of my sight, with a view to ascertain the focal power of my eyes for horizontal and for vertical rays, and to determine whether they possess a power of adjustment for different distances.* Proc. of Roy. Soc. X. S. 380—385. Phil. Mag. (4.) XX. S. 480—483.

1861.

2460. F. C. Donders. *Beiträge zur Kenntnifs der Refractions- und Accommodationsanomalien.* Arch. f. Ophthalm. VII. (1.) S. 155—204.

1862.

2461. Förster. *Ophthalmologische Beiträge.* Berlin, Enslin.

2462. J. H. Knapp. *Ueber die Asymmetrie des Auges in seinen verschiedenen Meridianen.* Arch. f. Ophthalm. VIII. (2.) S. 185—241.
2463. Giraud-Teulon. *Causes et mécanisme de certains phénomènes de polyopie monoculaire.* Compt. Rend. LIV. S. 904—906 u. 1130—1131. — Institut 1862. S. 138—139 u. 17[illegible]
2464. F. C. Donders. *Astigmatismus und cylindrische Gläser.* Berlin.
2465. — *Astigmatisme en cylindrische glazen.* Utrecht.

1863.

2466. Bumstead. *Sur l'astigmatisme.* Améric. med. Times N. S. VII. S. 18.
2467. B. A. Pope. *Beiträge zur Optik des Auges.* Arch. f. Ophthalm. IX. (1.) S. 41—6[illegible]
2468. C. Kugel *Ueber die Wirkung schief vor das Auge gestellter sphärischer Brillengläser beim regelmäfsigen Astigmatismus.* Arch. f. Ophthalm. X. (1.) S. 89—96.
2469. — *Ueber Schiefsehen bei Astigmatismus.* Wien. med. Wochenschr. No. 27, 28 u. 29
2470. Middelburg. *De Zidplaats van het Astigmatisme.* Utrecht. Versl. Ned. Gasth. v Oogl. No. 4. S. 146.
2471. — *Der Sitz des Astigmatismus.* Graefe's Arch. X. (2.) S. 83.
2472. Ph. H. Knauthe. *Ueber Astigmatismus.* Diss. Leipzig.
2473. Derby Hasket. *Quatre cas d'astigmatisme.* Améric. med. Times. N. S. VII. 24.
2474. Rothmund. *Ueber Weit- und Uebersichtigkeit und über Astigmatismus.* Bayr. ärztl Intelligenzbl. No. 19.
2475. Schweigger. *Ueber die Diagnose und Correction des Astigmatismus.* Arch. f Ophthalm. IX. (1.) S. 178.

1864.

2476. F. C. Donders. *Der Sitz des Astigmatismus (nach Middelburg's Resultaten) und die Excursionen der Bewegungen des emmetropischen und ametropischen Auges (nach Schuurmann).* Arch. f. Ophthalm. X. (2.) S. 83—108. — Klin. Monatsbl. f Augenheilkde. II. S. 92—245. III. S. 27.
2477. — *Anomalies of accommodation and refraction.* London. S. 449—556.
2478. J. H. Knapp. *Ueber die Diagnose des irregulären Astigmatismus.* Kl. Mon.-Bl. f Augenheilkde. S. 304—316.

1865.

2479. Businelli. *Un cas d'astigmatisme.* Giorn. d'Oftalm. Ital. VII. S. 10. — Ann d'ocul. LIII. S. 258.
2480. A. Classen. *Ueber Metamorphopsie.* Arch. f. Ophthalm. X. (2.) S. 155. — Schmidt's Jahrb. CXXV. S. 228.
2481. L. Kugel. *Ueber die Sehschärfe bei Astigmatikern.* Arch. f. Ophthalm. XI. (1.) S. 106—113.
2482. H. Kaiser. *Zur Theorie des Astigmatismus.* Arch. f. Ophthalm. XI. 3. S. 186—229
2483. X. Galezowski. *Étude sur la diplopie monophthalmique.* Ann. d'Ocul. LIV S. 199—208.
2484. — *Tableau synoptique de la réfraction de l'oeil, choix des lunettes.* Paris, Leclerc.
2485. E. Javal. *Note sur le choix des verres cylindriques.* Ann. d'Ocul. LIII. S. 50.
2486. — *Ueber ein neues Instrument zur Prüfung des Astigmatismus.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 336.
2487. — *Nouvelles règles à calcul.* Ann. d'ocul. LIII. S. 181.
2488. — *De la neutralisation dans l'acte de la vision.* Ann. d'ocul. LIV. S. 9.
2489. Hasner v. Artha. *Klinische Vorträge über Augenheilkunde.* 2. Abth.: *Krankheiten der Hornhaut etc.* Prag, Credner. S. 141—145.

1866.

2490. A. Burow. *Ueber Javal's règle à calcul.* Arch. f. Ophthalm. XII. 2. S. 308.
2491. John Green. *Toetslynen tot bepaling van astigmatisme.* Versl. Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 7. S. 155. Nederl. Arch. v. Gen. en Naturk. II.
2492. E. Javal. *Sur le choix des verres cylindriques.* Ann. d'Ocul. LV. S. 5—29.
2493. — *Histoire et bibliographie de l'astigmatisme.* Ann. d'Ocul. LV. S. 105—127.
2494. Laurent. *Étude sur l'histoire de l'art ophthalmologique.* Thèse de Paris. S. 74 u. 75.
2495. A. Nagel. *Historische Notiz über Hyperopie und Astigmatismus.* Arch. f. Ophthalm. XIII. 1. S. 25—30.

1867.

2496. J. Green. *Ueber die Auffindung und Messung von Astigmatismus* Americ. Journ. of med. Sc. Jan.

2497. E. Javal. *De l'astigmatisme.* Rev. méd. II. S. 52.
2498. — *Nouvel instrument pour la détermination de l'astigmatisme.* Ann. d'oculist. T. 57. S. 39.

1868.

2499. O. Becker. *Tafeln zur Bestimmung des Astigmatismus.* Wien.
2500. W. Dobrowolsky. *Ueber verschiedene Veränderungen des Astigmatismus unter dem Einfluſs der Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. XIV. (3.) S. 51—105.
2501. F. E. Reusch. *Theorie der Cylinderlinsen.* Leipzig. Teubner.

1869.

2502. E. Brücke. *Ueber asymmetrische Strahlenbrechung im menschlichen Auge.* Wien. Ber. LVIII. 2. S. 321—329.
2503. John Green. *On a new System for Tests for the Detection and Measurement of Astigmatism with an Analysis of sixty four Cases of refractive Anomalies observed by the aid of this Method.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 131.
2504. — *On a colour Test for Astigmatism.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 130.
2505. E. Javal. *De la lentille de Stokes.* Ann. d'oculist. T. 61. S. 73.
2506. H. D. Noyes. *Observations in Astigmatism.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. IV. V.
2507. O. M. Pray. *Test Type for Astigmatism.* Arch. f. Ophthalm. and Otolog. I. II. S. 17.
2508. — *Probebuchstaben zur Prüfung des Astigmatismus.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. I. (1.) S. 147.
2509. R. Schirmer. *Contributions à l'histoire de l'astigmatisme et de l'hypermetropie.* Ann. d'Ocul. LXII. S. 202.
2510. H. Snellen. *De richting der hoofdmeridianen van het astigmatische oog.* Versl. Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 10. S. 151. Arch. f. Ophthalm. XV. (2.) S. 191—207.

1870.

2511. Heymann. *Astigmatismus-Tafeln nach Dr. Pray.* Leipzig. Engelmann.
2512. H. Snellen. *De richting der hoofdmeridianen van het astigmatische oog.* Nederl. Arch. v. Gen. en Naturk. V. S. 43.

1871.

2513. E. Berlin. *Zur Berechnung des Astigmatismus der Hornhaut.* Klin. Mon.-Bl. IX. S. 217.
2514. G. Hay. *Ueber Knapp's allgemeine Formeln für astigmatische Strahlen und deren Special-Anwendung auf das Auge.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. II. (1.) S. 187.
2515. Strawbridge. *An additional method for the determination of Astigmatisme.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 100—105.

1873.

516. E. Javal. *Des variations de l'astigmatisme.* Compt. Rend. de la soc. de Biol. 5 juill. S. 270.
517. — *Divers appareils pour la mesure de l'astigmatisme.* Compt. Rend. de la soc. de Biol. 5 juill. S. 303.
518. — *Appareil pour la mesure de l'astigmatisme.* Gaz. med. de Paris.
519. H. Snellen. *Die Stokes'sche Linse mit constanter Axe.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 78—88.

1874.

520. H. Snellen u. E. Landolt. *Die Functionsprüfungen des Auges.* Gräfe-Sämisch Handbuch d. ges. Augenheilkde. Bd. III. Cap. I. Leipzig.

1876.

521. L. Mauthner. *Die optischen Fehler des Auges.* Wien. S. 43 u. 564.
522. J. Tweedy. *On an improved Optometer for estimating the degree of abnormal regular Astigmatism.* Lancet. 28. Octbr.

1877.

23. G. Hay. *Ueber die analytischen Bedingungen derjenigen Form des astigmatischen Strahlenbüschels, in welcher die beiden Brennlinien auf einander und jede auf der Axe des Strahlenbüschels senkrecht stehen, und über die Correction eines solchen Strahlenbüschels durch eine plancylindrische Linse.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. VI. S. 48.

1878.

2524. BRAILEY. *Ueber Astigmatismus.* Guy's Hosp. Rep. f. 1878.
2525. MAIMONIDE LEVI. *Praktischer Nachweis des Astigmatismus und eine leichte Methode, selbigen zu corrigiren.* Ann. di Ottalm. 2/3. S. 232.
2526. E. JAVAL. *Lentille de Stokes modifiée.* Ann. d'oculist. T. 80. S. 201.
2527. M. PESCHEL. *Ueber den Astigmatismus des indirecten Sehens.* Pflügers Arch. Bd. 18. S. 504.

1879.

2528. GRADLE. *Die Wirkung des Ciliarmuskels bei Astigmatismus.* Americ. Journ. of med. sc. Bd. 153. Jan.
2529. VAN HAAFTEN. *Het bepalen van Astigmatisme.* Diss. Utrecht. XIX. J. Versl. betr. het Nederl. Gasth. v. Oogl. S. 63—88.
2530. E. JAVAL. *Sur l'astigmatisme.* Soc. de Biol. 22. Febr.

1880.

2531. T. ANDERSON. *Improved apparatus to the objective estimation of astigmatism.* Rep. Brit. Assoc. S. 463—465.
2532. E. JAVAL. *Mesure subjective rapide de l'astigmatisme.* Séances de la soc. de Physique. S. 138.
2533. C. J. A. LEROY. *Sur l'astigmatisme.* Compt. Rend. XC. No. 22. S. 1277—1279.
2534. A. PLACIDO. *Nouvel instrument pour la recherche rapide des irrégularités de courbure de la cornée: l'astigmatoscope explorateur.* Period. de Oftalm. prat., revista bimens. L ssabon. Sept.-Nov.

1881.

2535. E. JAVAL. *De la mesure subjective et objective de l'astigmatisme.* Ann. o'oculist. T. 86. S. 64.
2536. A. LEROY. *Théorie de l'astigmatisme.* Arch. d'Ophthalm. I. 3. S. 220—260. I. 4. S. 335—370.

1882.

2537. E. BERGER. *Zur Diagnostik der Krümmungsanomalien der Hornhaut mit dem Keratoscop.* Berl. klin. Wochenschr. No. 50.
2538. — *Ein modificirtes Keratoscop.* Wien. med. Presse. No. 46.
2539. BERGMEISTER. *Demonstration des Keratoscops von Placido.* Anz. d. k. k. Ges. d. Aerzte in Wien. No. 2.
2540. L. DA FONSECA. *Astigmatoscope.* Arch. ophthalm. de Lisboa. Jan.—Febr.
2541. FRAENKEL. *Keratoscop.* Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 89.
2542. GAVARRET, *Astigmatisme et ophthalmométrie.* Rev. Scientif. XXX. S. 74.
2543. HASNER. *Ueber Dr. Placido's Keratoscop.* Prager med. Wochenschr. S. 121.
2544. HIRSCHBERG. *Keratoscop.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 59.
2545. E. JAVAL. *Contribution à l'ophtalmométrie.* Ann. d'oculist. T. 87. S. 213.
2546. — *Deuxième contribution à l'ophtalmométrie.* Ann. d'oculist. T. 88. S. 33.
2547. LEROY. *Sur la théorie de l'astigmatisme.* Rev. gén. d'ophthalm. I. S. 129.
2548. L. DE WECKER u. MASSELON. *Astigmomètre.* Centralbl. f. prakt. Aerzte. VI. S. 44.
2549. WOLFSKEHL. *Ueber Astigmatismus in Thieraugen und die Bedeutung der spaltförmigen Pupille.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. S. 7.

1883.

2550. A. ANGELUCCI. *Ricerche ottalmometriche per determinare lo astigmatismo irregolare delle cornee coniche.* Ann. di Ottalm. XII. S. 48.
2551. BONO. *Dell' astigmatismo negli operati di cataratta per estrazione.* Giorn. Acc. di med. di Torino. XLVI. No. 3.
2552. SW. M. BURNETT. *Refraction in the principal meridians of a triaxial ellipsoid, with remarks on the correction of astigmatism by cylindrical glasses and an historical note on corneal astigmatism. With a communication of the monochromatic aberration of the human eye in Aphakia by W. M. Harkness.* Arch. of Ophthalm. XII. 1. S. 1.
2553. — *Character of the focal lines in astigmatism.* Arch. of Ophthalm. XII. S. 310.
2554. DÖRFFEL. *Das stabile Keratoscop.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 30.
2555. W. HARKNESS. *On the monochromatic aberration of the human ege in Aphakia.* Arch. of Ophthalm. XII. No. 1.
2556. G. HAY. *Some additional remarks on the theory of the astigmatic pencil.* Transact. of the Amer. Ophthalm. Soc. for 1883. S. 549.

2557. A. v. Hippel. *Ueber verschiedene Methoden zur Bestimmung der Refraction, speciell des Astigmatismus.* Berl. klin. Wochenschr. No. 25.
2558. A. Javal. *Troisième contribution à l'ophthalmométrie.* Ann. d'oculist. T. 89. S 5.
2559. A. Imbert. *De l'astigmatisme.* Paris. 107 S.
2560. Landesberg. *Auftreten von regelmäfsigem Astigmatismus bei gewissen Refractions- und Accommodationsanomalien.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Decbr.
2561. L. Matthiessen. *Ueber die Form der unendlich dünnen astigmatischen Strahlenbündel und über die Form der Kummer'schen Modelle.* Sitzgs.-Ber. d. Bayer. Akad. u. Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 10.
2562. E. Nordenson. *Recherches ophthalmométriques sur l'astigmatisme de la cornée chez des écoliers de 7 à 20 ans.* Ann. d'Ocul. Bd. 89. S. 110.
2563. C. A. Oliver. *Description of a revolving, astigmatic disk.* Med. news. 6. Okt.
2564. G. Privat. *Considérations sur l'astigmatisme.* Montpellier. 69 S.
2565. Wecker u. Masselon. *Modification apportée à l'astigmomètre.* Ann. d'Ocul. Bd. 89. S. 138.
2566. — *La kératoscopie clinique.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 165.
2567. W. Zehender. *Zur Astigmometrie.* Ber. d. XV. Vers. d. ophthalm. Ges. S. 29 u. 176.

1884.

2568. G. B. Airy. *Continuation of observations on the state of an eye affected with astigmatism.* Proc. Cambridge Philos. Soc. V. S. 132.
2569. E. Berger. *Der Hornhautspiegel (Keratoskop) und seine praktische Anwendung.* Dtsch. Med.-Ztg. Heft 6.
2570. E. Javal. *Sur l'astigmatisme statique du cristallin.* Bull. soc. phil. (7.) VIII. S. 132.
2571. A. Leahy. *On keratoscopy as a means of diagnosing errors of refraction.* Indian med. Gaz. XIX. S. 184.

1885.

2572. E. H. Bennet. *Note on a ready method of demonstrating the alternation of the sectors of the crystalline lens.* Transact. of the Acad. of med. in Ireland. III. S. 435.
2573. A. J. Blanch. *El astigmatismo; juicio critico sobre los procedimientos de su determinación.* Rev. esp. de oftalm. sif. etc. Madrid. IX. S. 3, 97, 145, 241.
2574. S. M. Burnett. *The action of cylindrical glasses in the correction of regular astigmatism.* Americ. Journ. of Ophthalm. II. S. 275.
2575. H. Culbertson. *On the application of cylindrical glasses in spasmodic myopic astigmatism.* Americ. journ. of Ophthalm. August.
2576. W. S. Dennet. *The Stokes' lens for measuring astigmatism.* Transact. of the americ. ophthalm. soc. 21. meeting. S. 106.
2577. Gazepy. *Optomètre et astigmomètre binoculaire.* Arch. d'Ophthalm. S. 182. — Rec. d'Ophthalm. S. 138.
2578. G. Pfalz. *Ophthalmometrische Untersuchungen über Cornealastigmatismus, mit dem Ophthalmometer von Javal und Schiötz.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXI. (1.) S. 201—228.
2579. O. Purtscher. *Ein Vorschlag hinsichtlich der Gläsercorrection gewisser Krümmungsfehler der Cornea.* Arch. f. Augenheilkde. XV. S. 68.
2580. S. Theobald. *Notes of three cases of progressive astigmatism.* Americ. Journ. of Ophthalm. Juli.
2581. Vennemann. *Détermination de l'astigmatisme d'après un procédé nouveau.* Bull. et mém. Soc. franç. d'ophthalm. III. S. 335.
2582. W. v. Zehender. *Demonstration der Wirkung schief stehender sphärischer Linsen.* Ber. üb. d. 17. Vers. d. opthalm. Ges. in Heidelberg. S. 232.

1886.

2583. Berlin. *Über die Vermehrung der Perception am Thierauge durch Linsenastigmatismus.* Tagebl. d. 59. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 387.
2584. Chauvel. *De la constatation objective de l'astigmatisme par les images cornéennes au conseil de revision.* Arch. de méd. et de pharm. milit. 16. Mai.
2585. Culbertson. *On the use of cylindrical glasses in compound astigmatism.* Amer. Journ. of Ophth. S. 14.
2586. F. Denti. *Nuovo cheratoscopio registratore semplicissimo.* Gazz. med. Ital. Lomb.
2587. A. Kelsch. *The cause of regular astigmatism.* Med. Record. 17. Juli.

2588. Lemaire. *Nouvel optomètre astigmomètre.* Rec. d'Ophth. S. 611.
2589. Noyes. *Measurement of astigmatism by the ophthalmometer of Javal and Schiötz.*
2590. O. Purtscher. *A suggestion concerning the correction by glasses of certain anomalies of the curvatura of the cornea.* Arch. of Ophth. S. 264.
2591. H. R. Swanzy. *On uniformity in the designation of the meridian in astigmatism.* Ophth. Rev. S. 208.
2592. J. Tweedy. *On a improved optometer for estimating the degree of astigmatism and other errors of refraction.* Lancet. I. S. 777.

1887.

2593. R. Berlin. *Ueber ablenkenden Linsenastigmatismus und seinen Einfluſs auf das Empfinden von Bewegung.* Wiesbaden, Bergmann. 20 S. — Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. Bd. V.
2594. Bettremieux. *Notes cliniques sur l'astigmatisme.* Arch. d'Ophth. VII. S. 543.
2595. S. M. Burnett. *On some of the optical properties of spherical and cylindrical lenses placed obliquely to the incident pencils of light.* Americ. Journ. of Ophthalm. IV. S. 15—20.
2596. — *A theoretical and practical treatise on astigmatism.* St. Louis.
2597. Boehm. *Die Diagnose des Astigmatismus durch die quantitative Farbensinnprüfung.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 429.
2598. E. Javal. *De l'astigmatisme.* Ann. d'Ocul. Bd. 97. S. 223.
2599. — *Sur les variétés de l'astigmatisme régulier.* Soc. franç. d'ophthalm. S. 3.
2600. E. Javal et Martin. *Sur l'astigmatisme.* Rev. gén. d'Ophth. VI.
2601. Parent. *Notation de l'astigmatisme.* Soc. franç. d'ophthalm. S. 228.
2602. Reymond u. P. Bajardi. *Sulla visione nell' astigmatismo.* Ann. di Ottalm. S. 498.

1888.

2603. H. Culbertson. *Binocular astigmatism.* Journ. of the Amer. med. Assoc. XI. 18. S. 622.
2604. D. Desjardins. *De la kératoscopie comme moyen de diagnostic dans l'astigmatisme.* Gaz. med. de Montréal. II. S. 214.
2605. G. Fraenkel. *Die Wirkung der Cylinderlinsen veranschaulicht durch stereoskopische Darstellung des Strahlenganges.* Wiesbaden. Bergmann.
2606. Jackson. *Meridional astigmatism.* Amer. Journ. of Ophth. S. 310.
2607. C. J. A. Leroy. *Méthode pour déterminer par l'ophthalmomètre l'astigmatisme cornéen.* Rev. gén. d'Ophth. S. 150.
2608. G. Martin. *Étude sur les contractions astigmatismes du muscle ciliaire.*
2609. Suarez de Mendoza. *Sur la notation de l'astigmatisme.* Rec. d'Ophth. S. 539.
2610. Noyes. *On astigmatisme.* Amer. Journ. of Ophth. S. 200.
2611. Richey. *Binocular astigmatism.* Chicago med. Journ. and Examiner. Juli.

1889.

2612. P. Bajardi. *Della visione negli astigmatici.* Ann. d'Ottalm. XVIII. S. 138.
2613. Bull. *Variations de l'astigmatisme avec l'âge.* Compt. Rend. de la VII. réun. de la Soc. franç. d'Ophth. Rev. gén. S. 352.
2614. S. M. Burnett. *Lenticular regular astigmatism.* Philad. Med. News. LV. 11. S. 279.
2615. E. Grimal. *Étude sur les différents procédés employés dans la détermination de l'astigmatisme.* Montpellier. S. 82.
2616. A. Gullstrand. *Eine praktische Methode zur Bestimmung des Astigmatismus der Hornhaut mittelst der sog. Denivellirung der ophthalmometrischen Bilder.* Svenska läkansläsk. förh. S. 128. — Nord. ophth. Tidsskr. II. S. 93.
2617. C. Hintzi. *Proposition d'un nouveau procédé d'astigmométrie.* Arch. de méd. et pharm. mil. S. 201.
2618. C. J. A. Leroy. *Influence des muscles de l'œil sur la forme normale de la cornée humaine.* Arch. de Phys. norm. et path. XXI. No. 1.
2619. Loiseau. *Contribution à l'astigmométrie et notation l'astigmatisme.* Ann. d'Oc. Bd. 101. S. 99—102.
2620. v. d. Spill. *Die Bestimmung des Astigmatismus mittelst des Ophthalmometers von Javal-Schiötz (mit Prisma von Kagenaar).* Nederl. Tijdschr. voor Geneeskde. S. 385.

1890.

2621. C. du Bois-Reymond. *Keratoskop zur Messung des Hornhaut-Astigmatismus.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XIV. S. 257—259.

2622. Bull. *Remarques sur l'examen ophthalmométrique et optométrique d'un certain nombre d'yeux astigmates.* Rev. gén. S. 301

2623. Chibret. *Astigmatisme selon et contre la règle. Résultats comparés de l'examen objectif (kératométrie, skiascopie) et de l'examen subjectif.* Arch. d'Ophth. X. S. 357—362, 404.

2624. H. Draper-Speakman. *On the degree and demonstration of astigmatism as determined by Javals Ophthalmometer.* Med. Rec. 5. April.

2625. Galezowski. *Du diagnostic de l'astigmatisme irrégulier et de sa correction à l'aide des verres cylindro-coniques.* Progr. méd. No. 49. S. 460.

2626. — *Des verres coniqus ou cylindro-coniques et de leur emploi dans la correction de la vision dans un astigmatisme irrégulier.* Rec. d'Ophth. No. 8. S. 449.

2627. P. Géza. *Ein neues Instrument zur Bestimmung des Astigmatismus.* Szemészet. S. 37.

2628. A. Gullstrand. *Bidrag til Astigmatismens Teori.* Nord. med. Ark. XXI. S. 1—64. XXII. S. 288.

2629 — *Contribution à la théorie de l'astigmatisme.* Stockholm.

2630. — *Beitrag zur Theorie des Astigmatismus.* Skand. Arch. f. Physiol. II. S. 269 bis 359.

2631. — *Om Brännlinien vid Astigmatism.* Nord. ophth. Tidsskr. III. No. 1.

2632. G. Heinrich. *Untersuchung über die Wirkung schräggestellter sphärischer Brillengläser an emmetropischen und ametropischen Augen und Vergleichung dieser Wirkung mit der Wirkung cylindrischer Gläser.* Diss. Rostock. Adler's Erben.

2633. F. C. Hotz. *A simple and quick method of detecting astigmatism.* Americ. Journ. of Ophth. S. 270—278.

2634. — *A simple and reliable astigmometer.* Journ. americ. med. assoc. XIV. S. 420.

2635. C. Jackson. *Progressive hyperopic astigmatism.* Transact. of the Americ. Ophth. Soc. XXVI. S. 676.

2636. C. Koller. *On the determination of astigmatismus with the ophthalmometer.* Journ. americ. med. assoc. S. 380.

2637. — *Elimination of the cornea and its effect upon the refraction of the eye.* Americ. Journ. of Ophth. Juli.

2638. Kugel. *Ueber die pathologische Wirkung der Contouren beim monocularen Sehen der Astigmatiker und über Blendung als Ursache des Nystagmus.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (2.) S. 129—162.

2639. L. Leplat. *Un instrument pour contrôler l'orientation des verres cylindriques.* Arch. d'Ophth. X. S. 26—36.

2640. J. Roth. *Ueber Astigmatismus und Ophthalmometrie.* Diss. Zürich. Wiesbaden, Bergmann. 67 S.

2641. Speakman. *On the degree and demonstration of astigmatism as determined without the use of mydriatics by Javal's ophthalmometer, model of 1889.* Med. Rec. New-York. XXXVII. S. 378.

1891.

2642. S. M. Burnett. *Contributions to keratometry.* Ophthalm. Review. — Americ. med. Assoc. Section of Ophthalm. Jahreskongreſs zu Washington. Mai.

2643. Chibret. *Contribution à l'étude des astigmatismes cornéens et totals.* Rev. gén. d'Ophth. X. 7. S. 289—292.

2644. Galezowski. *Du diagnostic de l'astigmatisme irrégulier et de sa correction à l'aide des verres coniques.* Soc. d'ophth. de Paris. III. S. 200.

2645. E. Javal. *L'Ophthalmométrie clinique.* In Beiträge zur Psychologie u. Physiologie der Sinnesorgane. Hamburg. L. Voss. Helmholtz-Festschrift. S. 37—48. Auch separat erschienen.

2646. — *Mémoires d'ophtalmométrie.* Paris G. Masson. 626 S. et 135 fig.

2647. G. Martin. *Instabilité et étiologie de l'astigmatisme cornéen.* Progr. méd. No. 19—20. Rec. d'Opht. No. 5. S. 282.

2648. — *De la correction astigmatique.* Ann. d'Oculist. S. 139.

2649. Ostwalt. *De la force réfringente de la cornée, de l'ophthalmométrie et du cylindre correcteur de l'astigmatisme cornéen.* Rev. gén. d'Ophth. No. 5—6.

2650. C. Reymond. *Annotation sur la vision astigmatique et sur la correction dynamique.* Arch. Ital. de Biolog. Bd. 16. S. 113—125. — Heidelberger Helmholtz-Festschrift. S. 81—85.

2651. R. Simon. *Beiträge zur Lehre vom Astigmatismus, besonders in Hinsicht auf die Sehschärfe.* Diss. Strafsburg. S. 37. (Magdeburg. R. Walper.)

1892.

2652. Bull. *L'asthénopie des astigmates.* Progr. méd. No. 23—25.

2653. Pflüger. *Einige Resultate klinischer Ophthalmometrie.* Verh. d. X. intern. Congr. Bd. IV. S. 140.

2654. D. R. Roosa. *The prevalence of corneal astigmatisme in eyes with normal acuity of vision and without asthenopia.* Med. Rec. 26. Novbr.

2655. G. E. Schweinitz. *Some notes on the corneal astigmatism in 200 eyes measured with the ophthalmometre of Javal in comparison with the total subjective astigmatism after complete mydriasis.* The Times and Register. 19. Novbr. 1892.

2656. H. V. Würdemann. *What may be considered normal corneal astigmatism? From keratometric measurements of 300 eyes.* Journ. of the Americ. med. Assoc. Aug.

1893.

2657. Th. Guilloz. *Sur l'existence d'un astigmatisme cristallinien accommodatif.* Arch. d'Ophthalm. T. XIII. S. 676.

2658. E. Jackson. *The crossed cylinder.* Ophthalm. Rec. Vol. 2. No. 6 u. 12.

2659. — *The best form of cylinder test and variable prism with a new phorometer.* Ophthalm. Rec. Vol. III. No. 2 u. 3.

2660. F. Ostwalt. *Recherches expérimentales sur l'influence que l'éloignement de l'oeil exerce sur la force réfringente du cylindre correcteur dans les différentes formes de l'astigmatisme.* Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 543—555.

2661. C. Reymond. *Annotazione sulla visione astigmatica e la sua correzione dinamica.* Ann. d'Ottalm. XXII. S. 521.

2662. Risley. *The relative importance of astigmatism in the production of asthenopia.* Ann. of Ophthalm. and Otol. Jan.

2663. A. Roth. *Ueber eine neue stenopäische Brille (Siebbrille). Vorläuf. Mitth.* Arch. f. Augenheilkde. XXVII. S. 110—112.

2664. C. Weiland. *History and principles of keratometry; its value and limitation in the correction of astigmatism.* Arch. of. Ophthalm. Bd. XXII. S. 37—64.

1894.

2665. N. Andogsky u. W. Dolganow. *Sur l'astigmatisme et sa correction, dans leurs rapports avec l'usage de l'ophthalmomètre de Javal et Schiötz.* Ann. d'Ocul. Bd. 112. S. 296.

2666. F. van Fleet. *Astigmatismus und das Ophthalmometer.* Arch. of Ophthalm. XXII. S. 50—60. Dtsch. Auszug von R. Greeff im Arch. f. Augenheilkde. XXX. S. 62.

2667. F. C. Hotz. *On some modifications of my Astigmometer, and on its efficiency in the examination for Astigmatism.* Ann. of Ophthalm. III. 1.

2668. L. Howe. *Note on lid pressure as a cause of astigmatism.* Americ. Journ. of Ophthalm. Juli 1894.

2669. E. Jackson. *Value of the ophthalmometer in practical refraction work.* Ann. of Ophthalm. and Otol. S. 368.

2670. S. Mitchell. *A case of astigmatism where the contour of the corneae indicated the axes.* Ann. of Ophthalm. and Otol. Vol. III. S. 146.

2671. C. Weiland. *Description of a new optometer for the correction of astigmatism by distant tests.* Ann. of Ophthalm. and Otol. III. S. 29.

2672. H. Wilson. *Bemerkungen über die Wirkung der schiefen Augenmuskeln bei Astigmatismus.* Arch. of Ophthalm. XXIII. S. 276—282.

2673. A. Steiger. *Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraction.* Arch. f. Augenheilkde. XIX. S. 98—111.

2674. — *Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraction.* 1. Theil. Wiesbaden, J. F. Bergmann, 135 S.

3. Sphärische Aberration und mangelnde Centrirung des Auges.

1869.

2675. A. Holowinski. *Études expérimentales sur les aberrations de l'œil.* Thèse. Dorpat.

1876.

2676. L. Matthiessen. *Ueber den Aplanatismus der Hornhaut.* Gräfe's Arch. Bd. 22.

1881.

2677. L. Matthiessen. *Untersuchungen über den Aplanatismus und die Periscopie der Krystalllinsen in den Augen der Fische.* Pflüg. Arch. Bd. 21. S. 287 u. Bd. 25. S. 193.

2678. W. Schön. *Der Aplanatismus der Hornhaut.* Horner-Festschrift Wiesbaden. S. 125—131.

1883.

2679. E. Javal. *Les yeux décentrés.* Gaz. des Hôp. S. 486.

1884.

2680. M. Ehrnrooth. *Zur Frage über die Lage der Gesichtslinie und die Centrirung der brechenden Flächen im Auge.* Pflüger's Arch. XXXV. S. 390.

1885.

2681. Zehender. *Ueber den Gang der Lichtstrahlen bei schräger Incidenz. Ueber aplanatische Brillengläser.* Ber. üb. d. 17. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 29 u. 36.

1886.

2682. A. Seeliger. *Ueber den Einfluſs dioptrischer Fehler des Auges auf das Resultat astronomischer Messungen.* Abh. d. math.-phys. Klass. d. Acad. d. Wiss. zu München. S. 665.

1888.

2683. Jackson. *Symmetrical aberration of the eye.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 141.

2684. Tscherning. *Le centrage de l'œil humain.* Compt. Rend. Bd. 106. S. 1689.

2685. — *Étude sur la position du cristallin de l'oeil humain.* C. R. de l'acad. des sc. 16 avril 1888.

1890.

2686. Tscherning. *De l'influence de l'aberration de sphéricité sur la réfraction de l'œil.* Réponse à l'article du Dr. Chibret: *Astigmatisme selon et contre la règle.* Arch. d'Ophthalm. X. 5. S. 445.

1891.

2687. S. Finsterwalder. *Die von optischen Systemen gröſserer Oeffnung und gröſseren Gesichtsfeldes erzeugten Bilder. Auf Grund der Seidel'schen Formeln untersucht.* Abhandlg. d. k. bayr. Akad. d. Wiss. München, 1891. 71 S.

2688. Sulzer. *La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision.* Arch. d'ophthalm. XI. S. 419--435. — Progr. méd. No. 19—20. — Recueil d'ophthalm. No. 5. S. 282.

1892.

2689. Sulzer. *La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision.* 2e Partie: *Influence de la cornée sur la vision.* Arch. d'Ophthalm. XII. S. 32—50.

2690. — *La forme de la cornée et son influence sur la vision.* Paris. Steinheil.

1893.

2691. Leroy. *Méthode pour mesurer objectivement l'aberration sphérique de l'œil vivant.* Rev. gén. d'Ophthalm. XII. S. 112—115.

2692. — *Sur l'aberration sphérique de l'œil humain; mesure du sénilisme cristallinien.* Compt. Rend. Bd. 116. S. 636—639.

2693. M. Tscherning. *L'aberroscope.* Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 615—623.

1894.

2694. M. Tscherning. *Die monochromatischen Aberrationen des menschlichen Auges.* Zeitschr. f. Psychol. VI. S. 456—471.

4. Irregulärer Astigmatismus.

1867.

2695. E. Sang. *On some phenomena of indistinct vision.* Proc. Edinb. Soc. VI. S. 58—59.

1868.

2696. W. v. Bezold. *Über Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut.* Arch. f. Ophthalm. XIV. (2.) S. 1.

1869.

2697. W. v. Bezold. *Über objektive Darstellung von Zerstreuungsbildern.* Arch. f. Ophthalm. XV. (3.) S. 281—283.

2698. — *Versuche über Zerstreuungsbilder.* Pogg. Ann. Bd. 138. S. 554—560.

1872.

2699. G. B. Airy. *Further Observations on the state of an eye affected with a peculiar malformation.* Nature. V. S. 416. — Cambrid. Philos. Soc. 12. Febr.

1875.

2700. L. Weiss. *Polyopia monocularis an einem Auge, dessen Hornhaut abnorm gekrümmt ist.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXI. (2.) S. 187—204.

1876.

2701. T. W. Backhouse. *Visual phenomena.* Nature XIV. S. 474.
2702. Ward. *Visual phenomena.* Nature. XIV. 423.

1877.

2703. Cadiat. *Polyopie monoculaire.* Gaz. des hôp. No. 6. S. 45.

1881.

2704. Abercrombi, Adams, Ord, Nettleship. *Uniocular diplopia.* Transact. of the Ophthalm. Soc. of the Unit. Kingdom. I. 13. Oct. — Lancet. II. No. 17. — Ophthalm. Rev. Novbr.

1882.

2705. Charpentier, A. *Sur quelques usages du trou sténopéique.* Ann. d'ophthalm. S. 193.
2706. V. Schulek. *Die optischen Verhältnisse bei Doppelpupillen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXVIII. (3.) S. 128.

1883.

2707. A. Angelucci. *Ricerche ophthalmometriche per determinare lo astigmatismo irregolare delle cornee coniche.* Ann. di Ottalm. XII. S. 48.

1884.

2708. A. Angelucci. *Sulla refrazione e correzione delle cornee coniche sed ectatiche.* Ann. di Ottalm. XIII.

1887.

2709. A. Wilhelmi. *Ein Fall von monoculärer Triplopie.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 277.

1888.

2710. D. Axenfeld, *Il diaframma perforata nell'ottica fiisiologica.* Bull. d. r. Acad. med. di Roma. 1888/89. S. 200.
2711. H. P. Barrat. *De la polyopie monoculaire.* Rochefort sur-Mer. 1888. 68 S.
2712. S. Exner. *Ueber den normalen irregulären Astigmatismus.* Graefe's Arch. XXXIV. (1.) S. 1.

1889.

2713. Brunschwig. *Diplopie monoculaire.* Rec. d'Ophthalm. S. 468—474.
2714. J. C. Mc. Comell. *Coronae round a light produced by a peculiar structure in the eye.* Nature. XL. S. 342.
2715. C. J. A. Leroy. *Polyopie monoculaire.* Compt. Rend. de la VII. réun. de la Soc. franç. d'Ophthalm. Rév. génér. S. 350.
2716. — *Diplopie monoculaire.* Compt. Rend. de l'acad. des sciences. CVIII. S. 1271.
2717. G. Santeson. *Fälle von monoculärer Polyopie.* Svenska läkars. förh. S. 168.
2718. — *Monoculare Polyopie.* Hygiea. S. 168.
2719. W. Schön. *Eine Verzerrungserscheinung am kurzsichtigen Auge.* Arch. f. Augenheilkde. XXI. S. 103.

1890.

2720. C. Lucanus. *Ein Fall von monocularem Doppelsehen.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXVIII. S. 282—287.

1891.

2721. Bull. *De la polyopie monoculaire.* Progr. méd. No. 19—20. — Rec. d'ophtalm. No. 5. S. 282.
2722. J. H. Thompson. *Double monocular diplopia.* Ophthalm. Rev. Aug. u. Septbr. (Americ. Med. Assoc. Sect. of Ophthalm. Jahrescongrefs zu Washington. Mai 1891.

1893.

2723. Th. Axenfeld, *Über eine eigenthümliche Form von unregelmäfsigem Hornhautastigmatismus (corrigirbare partielle Hyperopie), complicirt mit hochgradiger Störung der relativen Accommodation auf dem befallenen Auge.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXI. S. 33.

§ 15.

Die entoptischen Erscheinungen.

Aufser den hier aufgeführten Abhandlungen ist auch ein Theil der in § 25 angegebenen Litteratur zu berücksichtigen.

1690.

724. M. Dechales. *Cursus seu mundus mathematicus.* Lugduni. III. S. 402.

1694.

725. de la Hire. *Accidens de la vue.* Mém. de l'Acad. d sc. S. 358.
726. Pitcairn. *Opera.* Lugd. Bat. S. 203 u. 206.

1722.

727. Morgagni. *Adversaria anatomica.* VI. Anim. LXXV. S. 94. Lugd. Bat.

1740.

728. Le Cat. *Traité des sens.* Rouen. S. 289.
729. Aepinus. *Novi Comment.* Petrop. VII. S. 303.

1760.

730. *Histoire de l'Acad. d. sc. pour l'an 1760.* S. 57.

1795.

731. G. C. Beireis et J. H. Ch. Vogler. *De maculis ante oculos volitantibus.* Helmstadt.

1819.

732. Purkinje. *Beiträge zur Kenntnis des Sehens.* S. 89.*

1825.

733. Purkinje. *Neue Beiträge.* S. 115 u. 117.*

1834.

734. D. Brewster. *Observations on the supposed vision of the blood-vessels of the eye.* The London and Edinburgh Philos. Mag. IV. S. 115—120.
735. M. Griffith. *Observations on the vision of the retina.* Philos. Magaz. IV. S. 43 bis 46.
736. T. W. W. *Observations on the visibility of the retina; with remarks upon its probable cause.* Philos. Mag. IV. S. 354—360.

1842.

737. Steifensand. Pogg. Ann. LV. S. 134.* v. Ammon's Monatsschr. f. Med. I. S. 103.
738. Sotteau. *Recherches sur les apparences visuelles sans object extérieur, connues sous le nom vulgaire de mouches volantes.* Ann. et Bull. de la Soc. de méd. de Gand. XI. Septbr.

1845.

739. *Listing. *Beitrag zur physiologischen Optik.* Göttingen.*
740. D. Brewster. Transact. of the Roy. Soc. of Edinb. XV. S. 377.
741. Mackenzie. Edinb. Med. and Surg. Journ. July.

1846.

742. F. C. Donders. *Over entoptische gezichtsverschijnselen en derzelver toepassing voor de herkenning van ooggebreken.* Nederl. Lancet. 1846—47. 2e Ser. D. II. bl. 345, 432 u. 537.

1848.

743. D. Brewster. *Observations on the supposed vision of the blood-vessels of the eye.* Phil. Mag. XXXII. 1; — Arch. d. sc. phys. et natur. de Genève. VIII. S. 299.

1849.

744. Gudden. J. Müller's Arch. S. 522.*

1850.

745. F. C. Donders. *Het entoptisch onderzoek tot herkenning van oogziekten.* Nederl. Lancet. 1850—51. S. 521.

1853.

746. Appia. *De l'oeil vu par lui même.* Genève.
747. Trouessart. *Suite des recherches concernant la vision.* Compt. Rend. XXXVI. S. 144—146.

1854.

2748. *A. Doncan. *De corporis vitrei structura.* Diss. Trajecti ad Rhenum; — Onderz. ged in het Physiol. Laborat. d. Utrechtsche Hoogeschool. Jaar. VI. S. 171.
2749. Burow. J. Müller's Arch. S. 166.
2750. Meissner. *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans.* Leipzig. S. 78.
2751. Ruete. *Physikalische Untersuchung des Auges.* Leipzig. S. 24.

1855.

2752. J. Jago. Proc. Roy. Soc. 18. Jan.
2753. H. Müller. *Ueber die entoptische Wahrnehmung der Netzhautgefäfse insbesondere als Beweismittel für die Lichtperception durch die nach hinten gelegenen Netzhaut elemente.* Verh. d. physik.-med. Ges. in Würzburg. Auch sep. Würzburg. Stahel

1856.

2754. Vierordt. *Wahrnehmung des Blutlaufs in den Netzhautgefäfsen.* Arch. f. physiol Heilkde. Heft II.
2755. Meissner. Henle u. Pfeuffer, Zeitschr. (3.) I. S. 565—566.
2756. A. E. Laiblin. *Die Wahrnehmung der Choroidealgefäfse des eigenen Auges.* Diss Tübingen.

1857.

2757. J. Jago. *Ocular spectres, structures and functions as mutual exponents.* Proc. Roy Soc. VIII. S. 603—610. — Phil. Mag. (4.) XV. S. 545—550.
2758. E. C. A. Weller. *Nonnulla de muscis volitantibus.*

1860.

2759. O. N. Rood. *On a probable means of rendering visible the circulation in the eye* Silliman J. (2.) XXX. S. 264—265 u. 385—386.

1861.

2760. L. Reuben. *On normal quasi-vision of the moving blood-corpuscles within the retina of the human eye.* Silliman J. (2.) XXXI. S. 325—388 u. 417.

1862.

2761. Tjepco Lycklama à Nycholt. *Over sommige entoptische gezichtsverschijnselen* Leiden.

1863.

2762. L. Mauthner. *Zur Lehre vom entommatischen Sehen.* Wien. Ber. Bd. 47.
2763. Giraud-Teulon. *Physiologie de la vision.* Ann. d'ocul. T. 49. S. 9.

1864.

2764. Czermak. *Entoptische Phänomene.* Wien. Sitzgs.-Ber. Bd. 43.
2765. A. Fick. *Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Sinnesorgane.* S. 251.

1868.

2766. R. Houdin. *Nouveau moyen d'exploration de la rétine par les phosphènes. — Images subjectives de la macula lutea et de la fovea centralis.* Mondes. (2.) XVI S. 764—767. — Compt. Rend. LXVI. S. 630—633.
2767. C. Nägeli. *Ueber selbstbeobachtete Gesichtserscheinungen.* Münch. Ber. I. S. 503 bis 532.

1869.

2768. B. A. Pope. *Entoptische Erscheinungen im Zusammenhang mit dem Blutlauf.* Arch f. Augen- u. Ohrenheilkde. Bd. I. S. 72—78 u. 459.

1870.

2769. B. A. Pope. *Beiträge zur physiologischen Optik (entoptische Erscheinungen).* Arch f. Augen- u. Ohrenheilkde. I. (2.) S. 197—199.
2770. J. L. Tupper. *On an optical illusion.* Philos. Mag. (4.) Vol. 39. S. 423—428.

1871.

2771. Dubrunfaut. *Sur quelques particularités des perceptions visuelles objetives et subjectives.* Mondes. XXVI. S. 77. Compt. Rend. Bd. 73. S. 752.
2772. — *Vision.* Institut. S. 102.
2773. J. le Conte. *On an optical illusion.* Philos. Mag. (4.) XLI. S. 266—269.

1872.

2774. O. Becker. *Ueber die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegungen in der menschlichen Netzhaut.* Berlin.
2775. Heuse. *Ueber die Beobachtung einer neuen entoptischen Erscheinung.* Arch. f Ophthalm. XVIII. 2. S. 236.

1876.

776. T. W. Backhouse. *Visual phenomena.* Nature. XIV. S. 423.

1878.

777. Badal. *Nouveau procédé pour déterminer la situation des objets qui flottent dans le corps vitré.* Gaz. d. Hôpit. S. 237.

1880.

778. D. P. Johannides. *Die gefäfslose Stelle der menschlichen Retina und deren Verwertung zur Bestimmung der Ausdehnung der Macula lutea.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (2.) S. 111.

779. Th. Leber. *Nachträgliche Notiz über die Gefäfse der Macula lutea.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (2.) S. 271.

780. — *Bemerkungen über das Gefäfssystem der Netzhaut in der Gegend der Macula lutea.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (2.) S. 127.

781. M. Peschel. *Ueber ein neues entoptisches Phänomen an der Macula lutea.* Pflüger's Arch. XXI. S. 399.

1881.

782. E. v. Fleischl. *Physiologisch-optische Notizen.* II. u. III. Mittheilung. Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. LXXXIII. 3. Abth.

783. E. Fuchs. *Ueber eine entoptische Erscheinung bei Bewegung des Augapfels.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (3.) S. 43—46.

784. L. Gerlach. *Über die Gefäfse der Macula lutea.* Sitzgs.-Ber. d. phys.-med. Soc. zu Erlangen. 1. Aug. 1881. 1 S.

785. A. v. Reuss. *Notiz über die Netzhautgefäfse im Bereiche der Macula lutea.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (1.) S. 21—26.

1882.

786. Meugin. *Note sur un phénomène subjectif produit par un astigmatisme myòpique composé.* Rec. d'Ophthalm. S. 7.

1883.

787. G. Mayerhausen. *Noch einmal der gefäfslose Bezirk der menschlichen Retina.* Arch. f. Ophthalm. XXIX. (1.) S. 150.

1884.

788. E. v. Fleischl. *Zur Physiologie der Retina.* Wien. med. Wochenschr. N. 10, 11. S. 273, 308.

789. O. W. Maher. *Spectrum of retinal vessels and yellow spot.* Austral. med. Gaz. November.

790. J. P. Nuël. *De la vision entoptique de la fovea centralis et de l'unité physiologique de la rétine.* Ann. d'Ocul. Bd. 91. S. 95. Arch. de Biol. IV.

1885.

791. Deeren. *Contribution à l'étude des images entoptiques.* Rec. d'Ophthalm. S. 282, 539 u. 678.

792. O. W. Maher. *A method, by which one can see the shadows of ones own retinal vessels and yellow spot.* Austral. med. Gaz. IV. S. 38.

793. D. C. L. Owen. *The clinical import of entoptic phenomena.* Birmingham med. Rev. XVII. S. 107.

794. L. Wolffberg. *Die entoptische Wahrnehmung der Fovea centralis und ihrer Zapfenmosaik.* Arch. f. Augenhlkde. XVI. S. 1.

1886.

795. D. Kokemüller. *Ueber eine interessante optische Erscheinung.* C. Z. f. Opt. u. Mech. VII, 2—5.

1887.

796. G. Meslin. *Sur une expérience relative à la vision.* Journ. de physique. (2 sér.) T. VI.

1888.

797. J. Colasanti und G. Mengarini· *Das physiologische Spektralphänomen.* Moleschott's Unters. z. Naturl. XIII. S. 451.

798. Grossmann. *Entoptic Perception of retinal vessels.* Ophthalm. Rev. S. 335.

799. B. Lindsay. *Optical illusions of motion conflicting theories referred to the test of certain hitherto undescribed entoptical phenomena.* Rep. of the 57. meeting of the Brit. assoc. for the avancem. of sc. held at Manchester 1887. London. S. 781.

2800. B. Lindsay. *The normal phenomena of entoptic vision distinguished from those produced by mechanical causes.* Rep. of the 57. meeting of the Brit. assoc. for the advancem. of sc. held at Manchester 1887. London. S. 779.

1891.

2801. P. H. Fridenberg. *Ueber die Sternfigur der Krystalllinse.* Dissert. Strassburg. 22 S.
2802. M. Tscherning. *Un nouveau phénomène entoptique.* Ann. de la Policl. de Paris. Décembre.

1892.

2803. G. L. Johnson. *Bemerkungen über die Macula lutea.* Arch. f. Augenhlkde. XXV. S. 157—175.

1894.

2804. F. Dimmer. *Ueber entoptische Versuche.* Vortrag, gehalten in der Sitzung des physiologischen Klubs in Wien am 24. April 1864. Wien. klin. Wochenschr. No. 22.

---

§ 16.

Das Augenleuchten und der Augenspiegel.

1. Das Augenleuchten und der Augenspiegel.

Wegen der Litteratur über binoculare Ophthalmoskopie siehe § 30.₂.

1704.

2805. Méry. Annales de l'Académie des sciences.

1709.

2806. De la Hire. Annales de l'Académie des sciences.

1810.

2807. Prevost. Bibliothèque britannique. XLV.
2808. Gruithuisen. *Beiträge zur Physiognosie und Eautognosie.* S. 199.
2809. Rudolphi. *Physiologie.* I. S. 197.

1826.

2810. J. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinnes.* Leipzig. S. 49.
2811. Esser. Kastner's Archiv für die gesammte Naturlehre. VIII. S. 399.

1836.

2812. Hassenstein. *De luce ex quorundam animalium oculis prodeunte atque de tapeto lucido.* Jenae.

1839.

2813. Behr. Hecker's Annalen. Bd. I. S. 373.

1844.

2814. E. Brücke. *Ueber die physiologische Bedeutung der stabförmigen Körperchen.* J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 444*.

1845.

2815. E. Brücke. *Anatomische Untersuchungen über die sogenannten leuchtenden Augen bei den Wirbelthieren.* J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 387*.
2816. A. Kussmaul. *Die Farbenerscheinungen im Grunde des menschlichen Auges.* Heidelberg.

1846.

2817. W. Cumming. *On a luminous appearance of the human eye, and its application to the detection of disease of the retina and posterior part of the eye.* Medico-chirurgical Transactions. XXIX. S. 284—296.

1847.

2818. E. Brücke. *Ueber das Leuchten der menschlichen Augen.* J. Müller's Arch. S. 225* u. 479*.

1851.

1819. H. Helmholtz. *Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge.* Berlin.

1852.

1820. Th. Ruete. *Der Augenspiegel und das Optometer.* Göttingen.
1821. H. Helmholtz. *Ueber eine neue einfachste Form des Augenspiegels.* Vierordt's Arch. f. physiol. Heilkde. XI. S. 827.
1822. F. C. Donders. *De oogspiegel van Helmholtz.* Nederl. Lancet, (ser. 3). Jahrg. I. S. 248.
1823. E. Follin. Archives générales de Médecine. Juli.
1824. A. Coccius. *Ueber die Ernährungsweise der Hornhaut.* Leipzig.
1825. Froebelius. Medic. Zeitung Rufslands. No. 46.

1853.

1826. A. Coccius. *Ueber die Anwendung des Augenspiegels nebst Angabe eines neuen Instruments.* Leipzig*.
1827. A. C. van Trigt. *Dissertatio de Speculo oculi.* Utrecht; Nederl. Lancet. Ser. 3. Dl. II. S. 430. Deutsch mit Zusätzen von Schauenburg. Lahr 1854.
1828. H. A. O. Saemann. *De speculo oculi.* Regiomonti.
1829. R. Ulrich. *Beschreibung eines neuen Augenspiegels.* Henle u. Pfeuffer Zeitschr. f. ration. Med. Neue Folge. IV. S. 175*.
1830. Meyerstein. *Beschreibung eines neuen Augenspiegels.* Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rational. Medicin. Neue Folge. IV. S. 310.
1831. E. Follin et Nachet. Mém. de la Société de Chirurgie. III.
1832. Maressal de Marsilly. *Notice sur l'ophthalmoscope de Follin et Nachet.* Ann. d'ocul. XXVII. S. 55.
1833. F. C. Donders. *Nadere waarnemingen met den oogspiegel.* Nederl. Lancet, (ser. 3). Jahrg. III. S. 486 u. 520.
1834. Spencer Wells. Medical Times. Septbr.

1854.

1835. F. C. Donders. *Verbeteringen van den oogspiegel.* Onderzoekingen gedan in het Physiologisch Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool. Jaar VI. bl. 131* u. 153*.
1836. — *Ueber die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegung im Auge.* Arch. f. Ophthalm. I. (2.) S. 75. — Nederl. Lancet, (ser. 3.) Jahrg. IV. S. 253.
1837. Anagnostakis. *Essai sur l'exploration de la rétine et des milieux de l'oeil sur le vivant un moyen d'un nouvel ophthalmoscope.* Paris. (Ein durchbohrter Hohlspiegel.) — Ann. d'ocul. Février et Mars.
1838. Stellwag von Carion. *Optische Theorie der Augenspiegel.* Wien.*
1839. G. A. Leonhard. *De variis oculorum speculis illorumque usu.* Leipzig.
1840. Th. Ruete. *Bildliche Darstellung der Krankheiten des menschlichen Auges.* Leipzig. Lieferung 1 u. 2 auch unter dem Titel: *Physikalische Untersuchung des Auges.* S. 23—37*.
1841. C. H. Schauenburg. *Der Augenspiegel, seine Anwendung und Modificationen, nebst Beiträgen zur Diagnostik innerer Krankheiten. Nach dem Holländischen des Dr. van Trigt mit Zusätzen.* Lahr.
1842. W. Zehender. *Ueber die Beleuchtung des inneren Auges mit specieller Berücksichtigung eines nach eigener Angabe construirten Augenspiegels.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. I. (1.) S. 121*.
1843. R. Liebreich. *Ophthalmoskopische Notizen.* Arch. f. Ophthalm. I (2. S. 333.

1855.

1844. Stellwag von Carion. Zeitschr. d. Aerzte z. Wien. XI. S. 65*.
1845. v. Hasner. *Ueber den Augenspiegel.* Prag. Vierteljahrsschr. XII. S. 133.
1846. — *Ueber die Benutzung foliirter Glaslinsen.* Prag.
1847. E. Jaeger. *Beiträge zur Pathologie des Auges mit Abbildungen in Farbendruck.* Wien.
1848. — *Ergebnisse der Untersuchung des menschlichen Auges mit dem Augenspiegel.* Wien. Ber. XV. S. 319—344.

1856.

1849. Casterani. *Ophthalmoscope.* Cosmos. VIII. S. 612.
1850. E. Jäger. *Ueber die Anwendung des Ophthalmoskopes als Optometer.* Oesterr. Zeitschr. f. prakt. Heilkde. No. 10.
1851. De la Calle. *De l'ophthalmoscope.* Diss. Paris.

2852. W. Zehender. *Ueber die Beleuchtung des inneren Auges durch heterocentrisch Glasspiegel.* Arch. f. Ophthalm. II. (2.) S. 103—130.

1857.

2853. J. Porro. *La lunette panfocale, employée comme ophthalmoscope.* Compt. Renc XLV. S. 103—104. — Cosmos. XI. S. 96—97.

2854. A. Burow. *Ueber Construction heterocentrischer Augenspiegel und deren Anwendun* Arch. f. Ophthalm. III. (2.) S. 68—80.

2855. Schneller. *Ein Mikrometer am Augenspiegel.* Arch. f. Ophthalm. III. (2.) S. 121—18(

2856. R. Liebreich. *De l'examen de l'oeil au moyen de l'ophthalmoscope.* Bruxelle (Extrait de la traduction du Traité pratique des maladies des yeux par Mackenzi II. S. 1—62.)

1858.

2857. R. Liebreich. *Histologisch-ophthalmoskopische Notizen.* Arch. f. Ophthalm. IV (2.) S. 286.

1859.

2858. C. H. Schauenburg. *Der Augenspiegel, seine Anwendung und Modificationen, neb Beiträgen zur Diagnostik innerer Augenkrankheiten.* 2. Aufl. Lahr.

2859. A. Zander. *Der Augenspiegel, seine Formen und sein Gebrauch.* Leipzig un Heidelberg.

2860. E. Follin. *Leçons sur l'application de l'ophthalmoscope au diagnostic des maladie de l'oeil.*

2861. Giraud-Teulon. *Théorie de l'ophthalmoscope avec les déductions pratiques qui e découlent etc.* Gaz. méd. de Paris No. 7 u. 8.

1860.

2862. R. Liebreich. *Methode, dem umgekehrten Bilde bei kurzsichtigen Augen eine stark Vergröſserung zu geben.* Arch. f. Ophthalm. VII. (2.) S. 130.

2863. — *Veränderungen an meinem Augenspiegel, Mikrometer.* Arch. f. Ophthalm. VI (2.) S. 134.

1861.

2864. Argilagos. *Sur un nouveau moyen de corriger l'influence fâcheuse que la lumièr exerce sur les yeux soumis à l'examen avec l'ophthalmoscope.* Gaz. d. Hôpit. S. 35

2865. Janssen et Follin. *Considérations physiologiques sur l'éclairage et ses application à l'ophthalmoscopie.* Arch. gén. de méd. Juli. — Echo méd. S. 405.

2866. O. Becker. *Ueber Wahrnehmung eines Reflexbildes im eigenen Auge.* Wien. Me Wochenschr. 1860. S. 670—672; 684—688. (Bildchen der hinteren Linsenfläch von der Hornhaut nach hinten reflectirt.)

1862.

2867. Argilagos. *Sur l'ophthalmoscopie physiologique.* Paris.

2868. Galezowski. *Nouveau modèle d'ophthalmoscope.* Acad. de méd. Séance du 7 janvie

2869. M. R. Gritti. *Dell'ottalmoscopo et delle malattie endoculari per esso reconoscibi* Milano.

1863.

2870. A. Burow. *Notiz betreffend die Beobachtung des eigenen Augenhintergrund* Arch. f. Ophthal. IX. (1.) S. 155—160.

2871. E. Follin. *Leçons sur l'exploration de l'oeil et en particulier sur les applications l'ophthalmoscope au diagnostic des maladies des yeux.* Paris.

2872. Giraud-Teulon. *De l'auto-ophthalmoscope de M. Coccius.* Gaz. des Hôpit. S. 6

2873. — *Nouvelle méthode pour l'examen autoophthalmoscopique.* Ann. d'Ocul. XLIX. S. 1

2874. G. Z. Laurence et Giraud-Teulon. *D'une modification des procédés ophth moscopiques.* Annal. d'Ocul. L. S. 106.

2875. F. Heymann. *Die Autoskopie des Auges.* Leipzig.

2876. R. Liebreich. *Atlas des Ophthalmoskopie.* Berlin. Hirschwald.

1864.

2877. C. Schweigger. *Vorlesungen über den Gebrauch des Augenspiegels.* Berlin.

2878. A. Coccius. *Beschreibung eines Oculars zum Augenspiegel.* Arch. f. Ophthal X. (1.) S. 123—147.

2879. R. Schirmer. *Ueber das ophthalmoskopische Bild der Macula lutea.* Arch. Ophthalm. X. (1.) S. 148—151.

2880. Wintrich. *Ueber die Benutzung des zweckmäſsig abgeblendeten zerstreuten Tag lichts zur Oto-, Ophthalmo- und Laryngoskopie.* Erlang. Med. Neuigkeiten. 9. Apr

2881. F. C. Donders. *Omtrent de uitwendige vaten van het oog en den daarin waarnembaren bloedsomloop.* Versl. v. het Nederl. Gasthuis v. Oogl. No. 5. S. 260.
2882. Monoyer. *Un Ophthalmoscope portatif.* Ann. d'Ocul. LII. S. 210.

1867.

2883. Giraud-Teulon. *Instrument zur Messung der Sehnerven-Papille.* Klin. Mon.-Bl. V. S. 297.
2884. — *D'une nouvelle combinaison ophthalmoscopique.* Ann. d'Ocul. LVII. S. 82.
2885. L. Mauthner. *Die Bestimmung der Refractionsanomalien mit Hülfe des Augenspiegels.* Wien.
2886. — *Lehrbuch der Ophthalmoskopie.* Wien.
2887. H. Wilson. *Ueber Augenuntersuchung mit Hülfe des Ophthalmoskopes.* Dubl. Journ. XLIV. S. 87.
2888. — *Leçons sur la théorie et la pratique de l'ophthalmoscope.* Dublin 1868.

1868.

2889. E. Berthold. *Construction eines Augenspiegels zum Gebrauche bei Vorlesungen.* Med. Centralbl. S. 373—374.
2890. Bouchut. *Emploi de l'ophthalmoscope.* Mondes. (2.) XVII. S. 274.
2891. E. A. Coccius. *De apparatu optico ad interiores bulbi oculi morbos demonstrandos constructo.* Leipzig. Universitätsprogramm.

1869.

2892. C. M. Gariel. *Sur l'ophthalmoscope.* Paris.
2893. Giraud-Teulon. *De l'influence, qu'exercent les lentilles positives et négatives et leur distance à l'oeil, sur les dimensions des images ophthalmoscopiques du disque optique, dans les anomalies de la réfraction oculaire.* Compt. Rend. LXIX. S. 384—387.
2894. E. v. Jäger. *Ophthalmoskopischer Handatlas.* Wien.
2895. M. Perrin. *Déscription d'oeil artificiel destiné à faciliter les études ophthalmoscopiques.* Ann. d'Ocul. LXI. S. 163.
2896. Poncet. *Ophthalmoscope à chambre noire.* Gaz. hebdom. de méd. et de chir. No. 32. S. 501.
2897. M. Woinow. *Bemerkungen über die Untersuchungen der Refraction mittelst des Augenspiegels.* Med. Centralbl. S. 881—885.

1870.

2898. A. Clebsch. *Ueber die Gröfse des ophthalmoscopischen Bildes.* Göttingen.
2899. W. Dobrowolsky. *Waarnemingen omtrent den bloedsomloop in den bodem van het oog bij den hond en bij den mensch.* Versl. Ned. Gasth. voor Oogl. No. 11. S. 170.
2900. — *Zur Lehre über die Blutcirculation im Augenhintergrund des Hundes und Menschen.* Centralbl. f. d. Med. Wiss. No. 20. u. 21.
2901. Javal. *Nouvel ophthalmoscope.* Gaz. hébdom. S. 278. Ann. d'Ocul. LXIII. S. 287.
2902. R. Liebreich. *Atlas der Ophthalmoskopie.* Berlin. Hirschwald. 2. Aufl.
2903. E. G. Loring. *Determination of the optical condition of the eye by the ophthalmoscope, with a new modification of the instruments for that purpose.* Americ. Journ. of med. Science. S. 323—347.
2904. F. Mohr. *Das Ophthalmophantom, ein neues Hülfsmittel zur Erlernung der Ophthalmoskopie.* Deutsche Klinik No. 26. S. 241—243.
2905. — *Das Ophthalmophantom und der Augenspiegel als Optometer.* Würzburg.
2906. M. Perrin. *Traité pratique d'ophthalmoscopie et d'optométrie.* Paris.
2907. C. Schweigger. *Ueber die Gröfse des ophthalmoscopischen Bildes.* Nachr. v. d. k. Ges. d. Wiss. Göttingen. No. 9.
2908. de Wecker et Roger. *Objectif a prismes pour l'usage d'un ophthalmoscope démonstratif.* Bull. de l'Acad. des Sciences. 4 avril.

1871.

2909. E. Loring. *Ueber den ophthalmoscopisch sichtbaren hellrothen Streifen in der Mitte der Netzhautgefäfse.* Arch. f. Augen u. Ohrenheilkde. II. S. 199.

1872.

2910. B. Carter. *Ein Augenspiegel von neuer Construction.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. X. S. 282.
2911. H. Cohn. *Ein Augenspiegel für schnelle Refractionsbestimmung.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. X. S. 207.
2912. J. Hogg. *Ophthalmoscope à démonstration.* Med. Times and Gazette.
2913. Th. Leber. *Der Augenspiegel.* Berlin.

2914. H. Magnus. *Ophthalmoscopischer Atlas.* Leipzig. Engelmann.
2915. Oldham. *Ueber ein verbessertes Ophthalmoskop.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde X. S. 287.
2916. Schnabel. *Ueber die Lage und Gröfse des aufrechten Bildes im Augenhintergrunde* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 119.
2917. Schröder. *Neuer binoculärer Augenspiegel von Coccius.* Klin. Mon.-Bl. X. S. 288.
2918. Sichel. *Nouvel ophthalmoscope.* Compt. Rend. LXXIV. S. 370.
2919. — *Note sur un ophthalmoscope à deux observateurs, pour les démonstrations.* Ann. d'Ocul. LXVII. S. 57.

1873.

2920. W. Laidlow Purves. *A contribution to ophthalmoscopy.* London.

1874.

2921. E. Landolt. *Le grossissement des images ophthalmoscopiques.* Paris. 82 S.
2922. H. Schmidt. *Die Farbe der Macula lutea im Auge des Menschen.* Medic. Centralbl. N. 57. S. 900—902. — Sitz.-Ber. d. Ges. z. Beförd. d. ges. Naturw. zu Marburg, No. 7.
2923. Pr. Smith. *Demonstrations-Ophthalmoskop.* Brit. med. Journ. 19. Decbr.
2924. W. Stammeshaus. *Ueber eine Methode, dem aufrechten Bilde eine stärkere Vergröfserung zu ertheilen, sowie über die Gröfse des Gesichtsfeldes bei Untersuchungen im aufrechten Bilde.* Klin. Mon.-Bl. XII. S. 1.

1875.

2925. E. Berthold. *Beschreibung einer einfachen Methode, vermittelst deren zwei Beobachter gleichzeitig den Augengrund untersuchen können.* Berl. klin. Wochenschr. S. 531—533.
2926. Brecht. *Ueber den Reflex in der Umgebung der Macula lutea.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXI. (2.) S. 1—26.
2927. G. Ludwig. *Bestimmung der Kurz- und Uebersichtigkeit mit dem Augenspiegel.* Allg. milit.-ärztl. Ztg. No. 8 u. 9.
2928. F. Monoyer. *Ophthalmoscope à trois observateurs.* Compt. Rend. LXXX. S. 962.
2929. H. Schmidt. *Weitere Mittheilung über die Farbe der Macula lutea im Auge des Menschen.* Sitz.-Ber. z. Bef. d. ges. Naturw. in Marburg. 24. März 1875.
2930. H. Schmidt-Rimpler. *Die Macula lutea, anatomisch und ophthalmoskopisch.* Arch. f. Ophthalm. XXI. S. 17—28.
2931. J. Stilling. *Ueber ophthalmoscopische Refractionsbestimmung.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XIII. S. 143—183.

1876.

2932. Badal. *Mesure des différences de niveau du fond de l'oeil.* Gaz. d. Hôpit. S. 1175.
2933. E. A. Browne. *How to use the ophthalmoscope.* London. Trübner & Co.
2934. E. v. Jaeger. *Ergebnisse der Untersuchung mit dem Augenspiegel.* Wien. Seidel u. Sohn. 196 S.
2935. S. Klein. *Der Augenspiegel und seine Anwendung.* Wien. Klin. No. 11 u. 12. S.-A. Wien. Urban u. Schwarzenberg. 72 S.
2936. E. Landolt. *Die Vergröfserung des aufrechten ophthalmoscopischen Bildes.* Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 369.
2937. E. G. Loring. *Determination of the refraction of the eye by means of the ophthalmoscope.* New-York. Wood & Co. 62 S.
2938. O. E. Shakespeare. *Description of a new ophthalmoscope and ophthalmometer.* Amer. Journ. of Med. Sc. Bd 141. S. 45.

1877.

2939. Helfreich. *Ophthalmoskopische Mittheilungen über den Purpur der Retina.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XV. S. 113—115.
2940. J. Hirschberg. *Ueber Refractionsophthalmoskope und ihre Anwendung.* Dtsche. Zeitschr. f. prakt. Med. S. 353—356 u. 366—368.
2941. L. Königstein. *Ueber Sehpurpur und dessen Diagnose mit dem Augenspiegel.* Wien. Med. Presse. XVIII. No. 18.
2942. D. C. Rutenberg. *Ueber Ophthalmoskopie des aufrechten Bildes mit erweitertem Gesichtsfelde.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XV. S. 375—394.
2943. Schmidt-Rimpler. *Ueber eine neue Methode ophthalmoskopischer Refractionsbestimmung und über die Brennweite der concaven Augenspiegel.* Sitzgs.-Ber. d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturw. zu Marburg. No. 10. Dec. 1876. Berl. kl. Wochenschr. XIV. No. 4 u. 5.

2944. J. F. C. Thel. *Untersuchungen über das aufrechte Netzhautbild.* Diss. Berlin.
2945. — *Untersuchungen über das aufrechte Netzhautbild.* Beitr. z. prakt. Augenheilkde. v. J. Hirschberg. Heft 2. S. 24—32. Leipzig, Veit u. Co.
2946. L. Weiss. *Die Vergröfserung, in der man bei der Augenspiegel-Untersuchung im aufrechten Bild den Augengrund sieht — durch Messung des Augenspiegelbildes der Papille und Messung des anatomischen Durchmessers der Papille an ein und demselben Auge — direct bestimmt.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (1.) S. 109—156.

1878.

2947. H. Armaignac. *Traité élément. d'Ophthalmoscopie, d'Optometrie et de Réfraction oculaire.* Paris. Delahaye. 463 S.
2948. G. Engelhardt. *Ueber eine neue Form des Augenspiegels.* München, Knorr u. Hirth. 36 S.
2949. G. Haltenhoff. *Note sur un cas d'aphakie et aniridie traumatiques permettant l'observation du fond de l'oeil sans ophthalmoscope.* Génève. (Congr. méd. intern. de Génève.)
2950. Hasner. *Ueber die Vergröfserung des Retinalbildes.* Prag. Vierteljahrschr. S. 40 bis 46.
2951. J. Hirschberg. *Zur objectiven Refractionsbestimmung.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 262—263.
2952. E. Landolt. *Manuel d'Ophthalmoscopie.* Paris, Doin. 107 S.
2953. Schmidt-Rimpler. *Zur objectiven Refractionsmessung.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 260—262.
2954. — *Ueber ophthalmoscopische Refractionsbestimmung mit Hülfe des umgekehrten Bildes.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 211.

1879.

2955. G. Engelhardt. *Ueber einen neuen Augenspiegel.* Jahresber. d. Ges. f. Natur- u. Heilkde. in Dresden. 1878—1879.
2956. W. R. Gowers. *A manual and atlas of medical ophthalmoscopy.* London, Churchill.
2957. K. Grossmann. *Das Refractionsophthalmoskop.* Zehender's kl. Mon.-Bl. März.
2958. J. Hirschberg. *Ueber den stabilen Augenspiegel.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. III. S. 171—172.
2959. — *Ueber Refractionsophthalmoskope.* The Roy. Lond. Ophthalm. Hosp Rep. IX. 3.
2960. A. v. Reuss. *Einige Beobachtungen über functionelle und ophthalmoskopische Refractionsbestimmung.* Arch. f. Ophthalm. XXV. (1.)
2961. Samelson. *Ueber Wahrnehmbarkeit des Augengrundes bei Aphakie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. III. S. 79.
2962. Schnabel. *Zur Lehre von der ophthalmoskopischen Vergröfserung.* Arch. f. Augenheilkde. IX. S. 287.
2963. J. Stilling. *Notiz über Orthoskopie des Augengrundes.* Zehender's kl. Mon.-Bl. Februar.
2964. L. de Wecker *Ophthalmoscope à double disque.* Ann. d'Ocul. Bd. 83. 3/4. — Zehender's kl. Mon.-Bl. März.

1880.

2965. E. Landolt. *On the Enlargement of Ophthalmoscopic Images.* Brit. med. Journ. 3. Jan.
2966. Parent. *Grossissement de la loupe et des images ophthalmoscopiques.* Rec. d'Ophthalm. Juli.
2967. J. Schnabel. *Zur Lehre von der ophthalmoskopischen Vergröfserung.* Arch. f. Augenheilkde. IX. S. 287—299.

1881.

2968. D. F. Baroffio. *Della determinazione e misurazione dello stato diottrico statico all' ottalmoscopio.* Giorn. di med. mil. Roma. XXIX. S. 1049.
2969. Bayer. *Die Untersuchung der Thiere mit dem Augenspiegel.* Oesterr. Vierteljahrsch. f. Veterinärkde. Bd. 55. S 77.
2970. H. Coursserant. *Note sur un ophthalmoscope à deux observateurs.* France méd. II. S. 722.
2971. Föringer. *Die Ophthalmoskopie in der Veterinärmedizin.* Vortr. f. Thierärzte, red v. Prof. Siedamgrotzky. Heft 4.
2972. Parent. *Optométrie ophthalmoscopique à l'image renversée.* Rec. d'Ophthalm. III. No. 9. S. 544.

2973. TH. REID. *On the direct measurement of ophthalmoscopic objects.* Brit. med Journ. No. 1. S. 10.
2974. H. SCHOELER. *Ein neues Refractions-Ophthalmoskop.* Arch. f. (Anat.) u. Physiol. V. S. 574.
2975. R. ULRICH. *Das ophthalmoskopische Gesichtsfeld.* Diss. Marburg. — Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XIX. S. 186—212.

1882.

2976. G. ALBERTOTTI. *Sulla determinazione sperimentale della grandezza dell' immagine oftalmoscopica rovesciata.* Giorn. della R Accad. di Med. di Torino. — Ann. di Ottalm. XI. S. 25. — Klin. Mon.-Bl. S. 335. — Arch. Ital. de Biol. I. 2.
2977. BAUMEISTER. *Demonstration eines Augenspiegels.* Ber. d. XIV. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 174.
2978. BERLIN. *Augenspiegelbilder.* Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abth.) S. 168.
2979. F. FUCHS. *Vorschlag zur Construction eines Augenspiegels mit neuer Reflexions- und Polarisationsvorrichtung.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. II. S. 305—310.
2980. — *Ueber die günstigen physikalischen Bedingungen bei der Beobachtung der Netzhaut im umgekehrten Bilde.* Bonn.
2981. GALEZOWSKY. *Ophthalmoscope.* Rec. d'Ophthalm. S. 436.
2982. W. R. GOWERS. *A manual and atlas of medical ophthalmoscopy* London, Churchill. 386 S.
2983. A. GRAEFE. *Epikritische Bemerkungen über Cysticerus-Operationen und Beschreibung eines Localisirungs-Ophthalmoskops.* Arch. f. Ophthalm. XXIII. (1.) S. 187.
2984. J. HIRSCHBERG. *Ophthalmoskopie.* Eulenburg's Real-Encyclop. d. ges. Heilkde.
2985. — *Zur vergleichenden Ophthalmoskopie.* Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abth.) S. 31.
2986. G. L. JOHNSON. *An improvided ophthalmoscope.* Tr. Ophthalm. Soc. U. Kingd. London. 1881—1882. II. S. 273.
2987. H. JULER. *The application of retinoscopy to the diagnosis and treatment of the errors of refraction.* Ann. d'Ocul. Bd. 88. S. 327.
2988. — *And improved ophthalmoscope for refraction and other purposes.* Brit. med. Journ. II. S. 95.
2989. H. SCHMIDT-RIMPLER. *Ophthalmoskopische Refractionsbestimmung im umgekehrten Bild.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. November.
2990. M. W. SCHULTEN. *Ueber die Beobachtung des Augenhintergrundes unter hochgradiger Vergröfserung.* du Bois' Arch. f. Physiol. S. 285.
2991. A. M. C. TOMÉ. *Historia del oftalmoscopie.* Ophthalm. pract. Rev. mens. Ann. No. 5. S. 97.
2992. W. UHTHOFF. *Demonstration eines Refractions-Ophthalmoskops zur Bestimmung des Astigmatismus.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. S. 167.
2993. C. H. VILAS. *The ophthalmoscope; its theory and practical uses.* Chicago. 150 S.

1883.

2994. E. BERGER. *Ein neues Refractions-Ophthalmoskop.* Wien. med. Wochenschr. No. 51. — Arch. f. Augenheilkde. XII. 4. S. 412.
2995. E. A. BROWNE. *How to use the ophthalmoscope.* London.
2996. BUCH. *A new ophthalmoscope.* Physician a. Surg. Ann. Arbor, Mich. V. S. 166.
2997. W. BURCHARDT. *Ein neuer Refractions-Augenspiegel.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. September.
2998. — *Ein neues Verfahren zur Bestimmung der Refraction des Auges im aufrechten Bild.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. December.
2999. R. B. CARTER. *The ophthalmoscope.* Quain's dictionary of medecine. S. 1050.
3000. COUPER. *A new refraction ophthalmoscope.* Med. Times and Gaz. No. 1719.
3001. H. COURSSERANT. *Nouvel ophthalmoscope à deux observateurs.* Bull. et mém. de la Soc. franç. d'Ophthalm. S. 113.
3002. F. FUCHS. *Ueber die günstigsten physikalischen Bedingungen bei der Beobachtung der Netzhaut im umgekehrten Bilde.* Verh. d. naturw. Vers. d. preufs. Rheinl. u. Westfalens. XXXX. 4. Folge. X. S. 181.
3003. A. GRAEFE. *Noch ein Wort über mein Localisirungs-Ophthalmoskop.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 370.
3004. LEWKOWITSCH. *Epikritische Bemerkungen über das Localisirungs-Ophthalmoskop von Professor Alfred Graefe.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 302.

3005. Nachet. *Ophthalmoscope à bouton automatique.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 161.
3006. F. Ostwaldt. *Experimentelle Untersuchung über den centralen Reflexstreifen an den Netzhautgefäſsen.* Diss. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Febr.-März.
3007. Parent. *Déscription d'un ophthalmoscope à verres cylindriques.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 130.
3008. Pflüger. *Ein neues Refractions-Ophthalmoskop.* Ber. d. ophthalm. Ges. z. Heidelberg. S. 183.
3009. Roulot. *Ophthalmoscope à réfraction.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 28.
3010. J. B. Story. *The estimation of refraction by retinoscopy before and after atropinisation.* Ophthalm. Rev. London. II. S. 294.

1884.

3011. Burnett. *Why the eyes of animals shine in the dark.* Pop. Sc. Month. New-York. XXIV. S. 813.
3012. F. Dujardin. *L'examen ophthalmoscopique chez les tout jeunes enfants.* Journ. d. scienc. méd. de Lille. VI. S. 575.
3013. Eperon. *De la détermination à l'image droite des degrés élevés de myopie.* Arch. d'Ophthalm. S. 217.
3014. Heuse. *Ein Lichtreflex der Retina.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. (1.) S. 155 bis 158.
3015. F. Hodges. *On some peculiarities connected with retinal images.* Brain. VII. S. 77.
3016. J. Masselon. *Mémoire d'ophthalmoscopie.* Paris. Doin.
3017. L. Mauthner. *Historische Notiz in Betreff der Lehre vom Leuchten der Augen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Septbr. S. 257.
3018. G. Mayerhausen. *Vorschlag zur Bezeichnung der Augenspiegel, sowie der optischen Spiegel überhaupt.* Berl. klin. Wochenschr. XXI. No. 36. — Rev. clin. d'ocul. 5me année. No. 7.
3019. H. Parent. *Nouvel ophthalmoscope.* Bull. de l'arsén. méd.-chir. 1883/84. I. S. 60. — Rev. clin. d'ocul. August.
3020. — *Disque rotatif et pivotant muni de quatre miroirs pour l'examen à l'image droite.* Rec. d'Ophthalm. S. 170.
3021. Pflüger. *Ein neues Refractions-Ophthalmoskop.* Ber. über die Univ.-Augen-Klin. in Bern. 1882. S. 69.
3022. Rimpler. *Ueber ophthalmoskopische Refractionsbestimmung.* Dtsche. Wochenschr. S. 721.
3023. *Ophthalmoscopes à refraction munis de verres cylindriques.* Progr. méd. XII. S. 262.

1885.

3024. Agnew. *The insufficiency of the ophthalmoscope as the sole test of errors of refraction.* Transact. of the Amer. ophthalm. Soc. S. 112.
3025. A. H. Benson. *A convenient ophthalmoscope for students and practitioners.* Brit. med. Journ. I. S. 68.
3026. Berger. *Refractions-Ophthalmoskop mit variablem Intervalle zwischen je zwei Correctionsgläsern.* Zeitschr. f. Instrumentenkde. V. Heft 3.
3027. Burchardt. *Dioptriemeter für das aufrechte Bild.* Centralbl. f. chir. u. orthop. Mech. I. S. 39.
3028. S. M. Burnett. *Why the eyes of animals shine in the dark.* Wash. Bull. Phil. soc. VIII. S. 13—14.
3029. Couper. *New Ophthalmoscope.* Lancet. I. S. 112.
3030. W. Dennet. *The electric light ophthalmoscope.* Transact. of the Amer. ophthalm. Soc. S. 156. — New York. Med. Rec. Mai. S. 503
3031. J. B. Emerson. *A schematic eye for students of ophthalmoscopy.* New York Med. Rec. Oktbr. S. 398.
3032. Ferri. *Grandezza del fondo oculare visibile ad immagine diritta.* Giorn. d. r. Accad. di med. di Torino. (3.) XXXIII. S. 48.
3033. Fox. *An improved refraction ophthalmoscope.* Med. News. Phil. XLVI. S. 279.
3034. Galezowsky. *Traité iconographique d'ophthalmoscopie.* Paris. Baillière.
3035. Gunn. *New Ophthalmoscope.* Lancet. I. S. 112.
3036. E. Jackson. *A new form of refraction ophthalmoscope.* Transact. of the amer. opthalm. soc. 21. meeting. S. 111. — Med. News. XLVII.
3037 Lang. *New Ophthalmoscope.* Lancet. I. S. 112.

3038. Lassalle. *Peut-on, à l'aide du miroir ophthalmoscopique et sans verres correcteurs, déterminer, avec une exactitude suffisante, la réfraction statique de l'oeil?* Lyon. méd. XLIX. S. 521.
3039. R. Liebreich. *Atlas der Ophthalmoscopie.* 3. Aufl. Berlin, Hirschwald. Auch Englisch bei J. A. Churchill, London.
3040. E. Loring. *Text book of ophthalmoscopy.* Part I. *The normal eye, determination of refraction, diseases of the media, physiological optics and theory of the ophthalmoscops.*
3041. Malgat. *Etude comparative du fond de l'oeil normal et pathologique à l'ophthalmoscope.* Nice méd. IX. S. 145 u. X. S. 200.
3042. Morton. *New Ophthalmoscope.* Lancet. I. S. 112.
3043. Parent. *Ophthalmoscope à verres cylindriques.* Arch. d'Ophthalm. S. 182.
3044. Randall. *Some additions of the ophthalmoscope.* Med. News. XLVII. No. 16. S. 442.
3045. Schleich. *Der Augenhintergrund des Kaninchens und des Frosches als Hülfsmittel beim Unterricht im Ophthalmoskopiren.* Mittheil. a. d. ophthalm. Klin. in Tübingen. II. 2. S. 167 u. 258.
3046. M. Stanford. *Ophthalmoscopes.* Ophthalm. soc. of the unit. kingd. 8. Januar.
3047. Szokalski. *Ueber das Leuchten der Thieraugen in der Dunkelheit.* Raszechsiviat. No. 22.

1886.

3048. Giraud-Teulon. *Substitution dans l'éclairage ophthalmoscopique binoculaire de la lumière directe à la lumière par réflexion latérale.* Ann. d'Ocul. Bd. 96. S. 246. — Journ. Americ. med. Ass. VI. S. 456.
3049. Hirschfeld. *Der scheinbare Ort der Trübungen im Auge.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 314.
3050. Jackson. *The ophthalmoscope for the general practitioner.* Maryland med. Journ. XV. S. 23.
3051. — *Lens series for the refraction ophthalmoscope.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 361.
3052. H. E. Juler. *Ophthalmoscope à réfraction avec foyer électrique.* Rec. d'Ophthalm. S. 426.
3053. — *Ophthalmoscope with electric light.* Ophthalm. Rev. S. 56.
3054. — *Présentation des deux ophthalmoscopes.* Bull. et mém. de la soc. franç. d'Ophthalm. IV. S. 340.
3055. Randall. *Modified Loring ophthalmoscope, with cylindrical lenses.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 273.
3056. Th. Reid. *Polarisation ophthalmoscope.* Ophthalm. Rev. S. 56. — Transact. of the ophthalm. soc. of the unit. kingd. VII. S. 497.
3057. Pr. Smith. *A new demonstrating ophthalmoscope.* Ophthalm. Rev. S. 246.
3058. M. Stanford. *New instrument for rapidly changing ophthalmoscopic mirors.* Ophthalm. Rev. S. 334.
3059. F. Valk. *The diagnosis of astigmatism with the ophthalmoscope.* Med. Rec. New York. XXIX. S. 673.
3060. A. Vossius. *Leitfaden zum Gebrauch des Augenspiegels für Studirende und Aerzte.* Berlin. Hirschwald. 88 S.

1887.

3061. Sw. Burnett. *A modification of the refraction ophthalmoscope.* Transact. of the americ. ophthalm. soc. S. 589.
3062. W. S. Dennet. *Modification of the ophthalmoscope.* Ophthalm. Rev. S. 303.
3063. F. Dimmer. *Der Augenspiegel und die ophthalmoskopische Diagnostik.* Leipzig und Wien. 176 S.
3064. E. Jackson. *A refraction ophthalmoscope.* Ophthalm. Rev. S. 1.
3065. W. H. Jessop. *New ophthalmoscope.* Brit. med. Journ. II. S. 724.
3066. J. Masselon. *L'ophthalmoscope Helmholtz-Wecker.* Ann. d'Ocul. Bd. 98. S. 24.
3067. Power. *Ophthalmoscope.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 292.
3068. Risley. *A modified form of ophthalmoscope with cylinders.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 587.
3069. F. Valk. *An improved ophthalmoscope.* New-York. med. Rec. April.
3070. W Zehender. *Zur Erfindung des Augenspiegels.* Münch. med. Wochenschr. S. 707.

1888.

3071. L. Bellarminow. *Neue Methode der ophthalmoskopischen Untersuchung.* (Russisch.) Russk. Med. No. 44. — Münch. med. Wochenschr. S. 865.
3072. — *Erwiderung.* Berl. kl. Wochenschr. S. 1049.
3073. P. Bongers. *Einfache Methode der Refractionsbestimmung im umgekehrten Bilde.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 194.
3074. Claiburne. *The theory and practice of the ophthalmoscope.* Detroit, G. S. Davis. 88 S.
3075. J. Dawson. *Th determination of errors of refraction by objective test.* Transact. South. Car. u. Assoc. Charleston. S. 77.
3076. J. B. Emerson. *A schematic eye for students of ophthalmoscopy.* Post Graduate. New-York 1888/89. S. 46.
3077. L. da Fonseca. *Atlas ophthalmoscopique.* Correio med. de Lisboa. Nov. u. Dec.
3078. Guaita. *Sulla distinzione oitalmoscopica del pigmento retinico e coroideale.* Ann. di Ottalm. S. 501.
3079. G. Haenel. *Objective Messung der Refraction des Auges.* Jahresber. d. Ges. f. Nat.- u. Heilkde. in Dresden. 1887/88. S. 121.
3080. J. Hirschberg. *Ueber H. Dr. Bellarminow's neue Art der ophthalmoskopischen Untersuchung.* Berl. med. Wochenschr. No. 49.
3081. C. Hoor. *Objective Methoden zur Einstellungs- (Refractions-) Bestimmung der Augen.* Wien. med. Wochenschr. No. 20.
3082. L. Howe. *A new method of testing the refraction of the eye.* Lancet. 3. März. S. 417.
3083. Leroy. *Moyen d'éviter le reflet cornéen.* Arch. d'Ophthalm. VIII. S. 280.
3084. B. Schwarzbach. *A new method of ophthalmoscopy.* Austral. Med. Gaz. Sydney. VIII. S. 236.
3085. S. Segal. *Ein Apparat zur Demonstration von ophthalmoskopischen Bildern des Phantoms von Perrin.* (Russisch.) Abh. d. med. Sect. d. Ges. d. Experim.-Wiss. a. d. Univ. zu Charkow f. d. Jahr 1888. II. S. 39.
3086. F. Valk. *An improved ophthalmoscope.* Post Graduate. New-York. 1888/89. VII. S. 48.
3087. A. Vossius. *Leitfaden zum Gebrauch des Augenspiegels für Studierende und Aerzte.* 2. Aufl. Berlin, A. Hirschwald.

1889.

3088. L. Borthen. *Neuer Refractionsaugenspiegel mit zwei Brennweiten.* Nord. ophthalm. Tidsskr. II. S. 105. — Norsk. Mag. f. Lägevid. No. 9.
3089. — *Nouvel ophthalmoscope à réfraction à deux foyers.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 337.
3090. — *Ein neues Refractionsophthalmoskop mit doppeltem Spiegel.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 424—429.
3091. S. Drutschinin. *Vereinfachte Methode der objectiven Refractionsbestimmung.* (Russisch.) Westnik ophthalm. VI. 4/5. S. 316.
3092. A. Groenouw. *Wo liegt die vordere Grenze des ophthalmoskopisch sichtbaren Augenhintergrundes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (3.) S. 29.
3093. A. Hodgkinson. *On the luminosity of eyes in the dusk.* Mem. a. Proc. Manchester Literar. a. Phil. Soc. (4) II. S. 224.
3094. L. Königstein. *Practische Anleitung zum Gebrauch des Augenspiegels.* Wien u. Leipzig, Urban u. Schwarzenberg.
3095. H. Magnus. *Ueber ophthalmoskopische Erscheinungen in der Peripherie des Augengrundes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (3.) S. 1—25.
3096. A. Randall. *Ueber den nasalen Reflexbogenstreif von Dr. L. Weiſs.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 178.
3097. — *The curvilinear reflection of Weiſs as a prodromal sign of myopia.* Med. News. LIV. No. 6. S. 152.
3098. Schmidt-Rimpler. *Prioritätsreclamation gegen Bellarminow.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Januar. S. 25.
3099. Schweigger. *Ueber den electrischen Augenspiegel.* Verh. d. physiol. Ges. Berlin. — du Bois' Arch. S. 365—366.

1890.

3100. L. Borthen. *A new refraction ophthalmoscope.* Brit. med. Journ. 18. Januar.

3101. W. R. Gowers. *A manual and atlas of medical ophthalmoscopy.* 3. Ausg. London.
3102. Harlan. *A new ophthalmoscope.* Transact. of the Americ. ophthalm. Soc. 22. Vers. S. 730—731.
3103. E. v. Jaeger. *Ophthalmoskopischer Handatlas.* Neu bearbeitet von M. Salzmann. Wien, Deuticke.
3104. Kalt. *Nouveau modèle d'ophthalmoscope.* Soc. d'Ophthalm. 4. März.
3105. Knoepfler. *Ophthalmoscope à refraction pouvant servir de disque optométrique.* Rev. méd. de l'est. Nancy. XXII. S. 103.
3106. C. J. A. Leroy. *Un ophthalmoscop-optomètre.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 229.
3107. — *L'influence de la distance de l'observateur dans la mesure des amétropies à l'image droite.* Rev. gén. d'Ophthalm. IX. S. 433—436.
3108. W. Nicati. *Manière de déterminer plus précisément la position de l'image ophthalmoscopique renversée d'estimer le degré de la myopie.* Arch. d'Ophthalm. S. 160.
3109. Payne. *A new ophthalmoscope.* New-York. med. Journ. S. 139.
3110. E. Pulvermacher. *Ueber die Sternfigur in der Netzhautmitte.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. 14. Jahrg. S. 325—330.
3111. Rudall. *Note on examination with the ophthalmoscope by ordinary daylight.* Austral. med. Soc. Melbourne. XII. S. 415.
3112. Vignes. *Un ophthalmoscope à réfraction.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 228.

1891.

3113. F. Dimmer. *Die ophthalmoskopischen Lichtreflexe der Netzhaut. Nebst Beiträgen zur normalen Anatomie der Netzhaut.* Leipzig u. Wien. F. Deuticke. 240 S.
3114. O. Gerloff. *Eine Modification des Schmidt-Rimpler'schen Refractionsbestimmers.* Zehender's klin. Mon.-Bl. 29. Jahrg. S. 391—394.
3115. J. P. Nuel. *D'une apparence ophthalmoscopique de l'oeil myope. — Contribution à la connaissance de la prédisposition héréditaire à la myopie.* Arch. d'Ophthalm., XI. S. 56—73.
3116. H. Parent. *Ophthalmoscope optométrique et phakométrique.* Arch. d'Ophthalm. XI. S. 313—320.
3117. Schweigger. *Ueber objective Bestimmung der Refraction und den electrischen Augenspiegel.* Heidelberg. Helmholtz-Festschr. S. 86—91.

1892.

3118. A. Antonelli. *Oftalmoscopio a refrazione.* Ann. di Ottalm. Anno XXI. S. 365.
3119. J. Bjerrum. *Anleitung zum Gebrauch des Augenspiegels.* Deutsch von O. Schwarz. Leipzig.
3120. Dahrenstaedt. *Ueber einen Fall von Sternfigur der Netzhautmitte.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XVI. S. 42—43.
3121. Davis. *A Reply to M. Story as to the causes of the light streak on retinal vessels.* Ophthalm. Rev. Septbr.
3122. — *The light-streak as seen upon the centre of the retinal vessels, owe to reflection, refraction or to both.* Arch. of Ophthalm. XX. S. 44.
3123. F. Dimmer. *Beiträge zur Ophthalmoskopie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVIII. S. 19—51.
3124. Fage. *Ophthalmoscope à réfraction pour les examens rapides.* Ann. d'Ocul. CVII. S. 279.
3125. Galezowski. *Du grossissement de l'image ophthalmoscopique dans l'étude de la pathologie des vaisseaux rétiniens.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 2. Juli. S. 601.
3126. — *Du grossissement de l'image ophthalmoscopique dans l'examen des vaisseaux rétiniens.* Rec. d'ophthalm. No. 7. S. 385.
3127. Th. Guilloz. *Examen binoculaire de l'image renversée du fond de l'oeil avec un ophthalmoscope ordinaire.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (N. S.) IV. S. 203—205.
3128. E. Lessing. *Vervollkommnung der Refractionsbestimmung bis zur Unabhängigkeit vom Untersuchten.* Hamburg, O. Meissner. 13 S.
3129. H. Parent. *Optométrie ophthalmoscopique au moyen de l'image renversée.* Bull. de la Soc. d'Ophthalm. de Paris. S. 105. — Arch. d'Ophthalm. S. 560.
3130. Philipsen. *Exposé algébrique élémentaire du grossissement ophthalmoscopique.* Ann. d'Ocul. CVII. S. 177.
3131. G. Rindfleisch. *Ein einfacher Apparat zur objectiven Refractionsbestimmung.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXX. S. 219—225.

3132. Schnabel. *Ueber die Beleuchtung des Gesichtsfeldes bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel.* Prag. med. Wochenschr. No. 30.
3133. E. Schulte. *Ophthalmoskopische Befunde an der Macula lutea.* Diss. Strafsburg. 33 S.
3134. P. Smith. *On the corneal reflex of the ophthalmoscope as a test of fixation and deviation.* Ophthalm. Rev. Febr.
3135. — *L'image réfléchie de la cornée produite par l'ophthalmoscope comme moyen de déterminer les déviations et le mode de fixation de l'oeil.* Ophthalm. Rev. XI. S. 37—42.
3136. Story. *The light reflex on the retinal vessels.* Dublin. Journ. of med. Sc. No. 10. S. 313. — Ophthalm. Rev. XI. S. 100—108.
3137. W. F. Weymann. *The region of the macula lutea in ophthalmoscopy.* Ophthalm. Rec. Decbr.

1893.

3138. Cl. du Bois-Reymond. *Der sichtbare Puls der Netzhautgefäfse.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. 1893. S. 303—305.
3139. F. Dimmer. *Der Augenspiegel und die ophthalmoskopische Diagnostik.* 2. Aufl. Wien, Deuticke. 213 S.
3140. H. v. Helmholtz. *The history of the discovery of the ophthalmoscope.* Med. Rec. 16. Decbr.
3141. L. Howe. *A convenient ophthalmoscope.* Americ. Journ. of Ophthalm. Febr.
3142. Inouye. *Ophthalmoskopischer Atlas.* Tokio. 2 Hefte.
3143. Moon. *A portable and combined optometer and ophthalmoscope.* Med. and Surgic. Rep. 11. Febr.
3144. D. E. Orro. *Ottalmoscopio fisso.* Ann. di Ottalm. XXII. S. 477.
3145. Snell. *A new ophthalmoscope.* Brit. med. Journ. No. 1678. S. 417. 20. Febr.
3146. Weiland. *A new eye model (anaklasimeter) for determining the refraction by ophthalmoscopy and retinoscopy.* Med. News LXIII. No. 2. S. 41.
3147. *Das Augenleuchten und die Erfindung des Augenspiegels.* Dargestellt in Abhandlungen von E. v. Brücke, W. Cumming, H. v. Helmholtz und C. G. Theod. Ruete. (Aeltere Beiträge zur Physiologie der Sinnesorgane in Neudrucken und Uebersetzungen herausgegeben von Arthur König.) Hamburg u. Leipzig, L. Voss.

1894.

3148. Ferri. *Della grandezza del campo di osservazione nell'esame oftalmoscopico.* Ann. di Ottalm. Anno XXIII. S. 180.
3149. Th. Guilloz. *Champ d'observation dans l'examen ophthalmoscopique à l'image droite.* Arch. d'Ophthalm. XIV. S. 118—130 u. 163—179.
3150. G. Hartridge. *The Ophthalmoscope.* London, Lewis. 1894.
3151. C. Kunn. *Vorschlag einer Augenspiegelmodification.* Wien. Klin. Rundsch. No. 2. S. 19.
3152. E. v. Jaeger. *Ophthalmoskopischer Handatlas.* Neu bearbeitet von Dr. M. Salzmann. 2. Aufl. der neuen Ausg. Wien, F. Deuticke. 92 S. mit 32 Taf.
3153. Th. Proskauer. *Ein kleiner Beitrag zur Autophthalmoskopie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 104.
3154. A. Roth. *Ein Augenspiegel mit neuem Mechanismus zur selbstthätigen Linsenauswechselung.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXII. Jahrg. S. 256—263.
3155. E. Rychner. *Eine neue Methode zur Refractionsbestimmung im umgekehrten Bilde.* Diss. Zürich. 33 S. Hamburg, Voss.

2. Schattenprobe, Skiaskopie oder Retinoskopie.

1873.

3156. Cuignet. *Kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 14.

1874.

3157. Cuignet. *Kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 239 u. 316.

1877.

3158. Cuignet. *Kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 59.

1878.

3159. Mengin. *De la kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 122.

1879.

3160. Cuignet. *Kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 73.

1880.

3161. Cuignet. *Kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 321 u. 520.
3162. Parent. *De la kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 65 u. 424.

1882.

3163. W. Charnley. *On the theory of the so-called keratoscopie, and its practical application.* Ophthalm. Hosp. Rep. London. X. S. 344.
3164. Chibret. *Détermination quantitative de la myopie par la kératoscopie (fantoscopie rétinienne) à l'aide d'un simple miroir plan.* Ann. d'Ocul. Bd. 88. S. 238.
3165. Forbes. *On keratoscopy.* Ophthalm. Hosp. Rep. S. 62.
3166. D. Hasbrouck. *Retinoskopy.* Journ. of Ophthalm. Otol. et Laryngol. S. 122.
3167. Juler. *The application of retinoskopy to the diagnosis and treatment of the errors of refraction.* Brit. med. Journ. II. S. 327. — Ann. d'Ocul. Bd. 88. S. 327.
3168. Loiseau. *Application à l'examen des hommes de guerre du procédé de détermination de la réfraction dit „keratoskopie".* Ann. d'oculist. S. 156.
3169. Parent. *De la kératoskopie.* Rec. d'ophthalm. S. 216.

1883.

3170. A. B. Prowse. *Retinoscopy.* Brit. med. Journ. S. 200.
3171. J. B. Story. *The advantages of the plane ophthalmoscopic mirror in retinoscopy.* Ophthalm. Rev. London. II. S. 228.
3172. — *The estimation of refraction by retinoskopy before and after atropinisation.* Ophthalm Rev. II. S. 294.
3173. Wecker et Masselon. *La kératoskopie clinique.* Ann. d'oculist. S. 165.

1884.

3174. A. R. Baker. *Retinoscopy.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 116.
3175. Hubert und J. M. Prouff. *Kératoscopie; nouveau kératoscope.* Rev. clin. d'ocul. IV. S. 110.
3176. Leahy. *On keratoskopy etc.* Indian med. gaz. Calcutta. S. 184.
3177. A. Leroy. *De la kératoscopie.* Arch. d'Ophthalm. S. 140.
3178. P. Smith. *A simple ophthalmoscope for the shadow-test.* Ophthalm. Rev. III. S. 266.

1885.

3179. E. Jackson. *The measurement of refraction by the shadow test, or retinoscopy.* Americ. Journ. of med. sc. Philadelphia. N. S. Bd. 89. S. 404.
3180. Pflüger. *Skiaskopie.* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. XV. S. 361.

1886.

3181. Chauvel. *De la constatation objective de l'astigmatisme par les images cornéennes au conseil de revision.* Arch. de méd. et de ph. mil. VIII. S. 257—362.
3182. Chibret. *Skiascopie; ses avantages: sa place en ophthalmologie.* Arch. d'Ophthalm. VI. S. 146—154.
3183. Cuignet. *Kératoscopie, Rétinoscopie, Pupilloscopie, Dioptroscopie et Réfraction.* Rec. d'Ophthalm. S. 705. — Mém. de la soc. franç. d'Ophthalm. IV. S. 295.
3184. N. Gordon. *Om Skiaskopi.* Ugeskr. f. läger. II. No. 35—36.
3185. Haynes. *A new instrument for facilitating retinoskopy.* Ophthalm. Rev. London. V. S. 282.
3186. H. Humphrey. *A new instrument for facilitating retinoscopy.* Ophthalm. Rev. S. 282.
3187. Jackson. *The best form and practical value of the shadow test in the measurement of refraction.* Journ. americ. med. assoc. VII. S. 262.
3188. — *A form of plane miror for the shadow test.* Med. News. 12. Juni.
3189. Morton and Barrett. *A clinical investigation of the merits of various methods of practising retinoskopy.* Brit. med. Journ. I. S. 105.
3190. Norrie. *On Skiaskopie.* Ugesk. f. Laeger. Kopenhagen. S. 545.
3191. Thompson. *Retinoscopy in extreme degrees of ametropia.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 338.

1887.

3192. A. R. Baker. *Retinoscopy.* Americ. Journ. of Ophthalm. Bd. IV. S. 291. — Transact. of the Intern. Med. Congr. Washington 1887. III. S. 774—780.
3193. J. H. Claiborne. *Retinoscopy, or the shadow-test.* Med. Rec. New-York. XXXII. S. 587.

3194. Cross. *Retinoscopy.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 290. — Transact. of the Intern. med. Congr. Washington. III. S. 770.

3195. Cuignet. *Kératoscopie, rétinoscopie, pupilloscopie, dioptroscopie et réfraction.* Rec. d'Ophthalm. S. 11.

3196. — *Images kératoscopiques.* Bull. et Mém. de la Soc. franç. d'Ophthalm. S. 25.

3197. Grandclément. *De la kératoscopie ou skiascopie.* Lyon méd. LV. S. 385.

3198. C. J. A. Leroy. *Les phénomènes de l'ombre pupillaire.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 289, 337 u. 440.

3199. T. Maczewski. *Skiaskopija.* Kron. lekarsk. VIII. S. 400.

3200. Monoyer. *Optométrie scotoscopique.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 529.

3201. Parent. *Diagnostic et détermination de l'astigmatisme.* Paris.

3202. Zieminski. *De la détermination de l'amétropie par la rétinoskiaskopie.* Bull. et mém. de la soc. franç. d'ophthalm. S. 29.

1888.

3203. S. M. Burnett. *Skiascopy; or the „shadow' test for the determination of the refraction of the eye.* Med. News. Philadelphia. LIII. S. 281.

3204. Cereseto. *A propos de la skiascopie (ancienne kératoscopie).* Rec. d'Ophthalm. S. 449.

3205. Chauvel. *A propos de la skiaskopie (ancienne kératoskopie.)* Rec. d'Ophthalm. S. 449.

3206. A. Chodin. *Ueber Retinoskopie (Skiaskopie).* Westnik ophthalm. V. S. 309.

3207. Chouet. *De la skiascopie (ancienne kératoscopie).* Rec. d'Ophthalm. S. 216 u. 344.

3208. Grandclément. *Encore un mot sur la kératoscopie.* Lyon méd. LVII. S. 160.

3209. Leroy. *Sur la théorie de l'ombre pupillaire; réponse à M. le Prof. Monoyer, réfutation directe de la théorie de Landolt.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 494.

3210. Monoyer. *Optométrie scotoscopique.* Rev. gén. d'Ophthalm. No. 7, S. 289. No. 8, S. 337.

3211. Neuschüler. *Skiaskopia e sua pratica applicazione.* Boll. d'Ocul. S. 165.

3212. Schwarzbach. *A new method of ophthalmoscopy.* Australian med. Gaz. Sidney. VII. S. 236.

3213. Simi. *Keratoscopia.* Boll. d'ocul. No. 5. Firenze.

1889.

214. S. Eliasberg. *Die Methode von Cuignet-Parent zur objectiven Bestimmung von Refractionsanomalien.* (Russisch.) Wratsch. No. 4 u. 5.

215. D. Hasbrouch. *Retinoscopy; the shadow test.* Journ. of Ophthalm., Otol. and Laryngol. New-York. S. 122.

216. Langier. *Nouveau système pour reconnaître certaines déformations de la cornée.* Union med. S. 110.

217. Lawrentjew. *Retinoskopie als bequemste Methode zur Bestimmung von Refractions-anomalien.* (Russisch.) Wojenno-Sanitarnoje Djelo. No. 16.

218. Overweg. *Objective Bestimmung der Refraction des Auges durch die Skiaskopie.* Dtsche. milit.-ärztl. Zeitschr. S. 157.

219. C. Schweigger. *Ueber Refractionsbestimmung durch die Beleuchtungsprobe.* Arch. f. Augenheilkde. XX. S. 442. — Ber. üb. d. XX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 115.

220. H. Snellen. *Skiaskopie.* Neederl. Tijdschr. voor Geneesk. (2. R.) S. 153.

221. Veszeley. *Ueber Skiaskopie.* Wien. klin. Wochenschr. No. 52.

1890.

222. Beaumout. *The shadow-test in the diagnosis and estimation of ametropia.* London. H. K. Lewis.

223. S. M. Burnett. *Skiaskopy.* Arch. Ophthalm. New-York. XIX. S. 260.

224. E. Jackson. *Retinal illumination for the shadow-test.* Ophthalm. Rev. Febr.

225. Masselon. *Examen fonctionnel de l'oeil.* Paris.

226. Saad-Sameh. *Nouvelle étude clinique et théorique sur la photoptoscopie (ancienne kératoscopie de Cuignet) et le photomètre.* Thèse de Paris.

27. H. Würdemann. *The use of skiascopy (the shadow-test) in determination of refractive errors.* Americ. Journ. of Ophthalm. VII. S. 137.

1891.

28. E. Bock. *Ueber Skiaskopie.* Vortrag, gehalten im Verein der Aerzte in Krain am 24. März. Memorabilien. Jahrg. XXXV. Heft 5. S. 257.

3229. Chibret. *De la Skiaskopie, son historique, son application clinique.* Heidelberge Helmholtz-Festschrift. S. 45—46.
3230. A. E. Fick. *Die Bestimmung des Brechungszustandes eines Auges durch Schatten probe (Skiaskopie).* 67 S. und 3 Tafeln. Wiesbaden. J. F. Bergmann.
3231. L. Königstein. *Ueber Skiaskopie.* Wiener med. Presse. No. 15. 16. 17. 18.
3232. H. Parent. *Exposé théorique du procédé d'optométrie ophtalmoscopique dit d Cuignet ou skiaskopie.* Arch. d'Ophtalm. XI. S. 535—545. — Heidelberger Helm holtz-Festschrift. S. 47—53.
3233. A. Roth. *Ueber Skiaskopie nebst Demonstration neuer skiaskopischer Instrumente* Dtsch. militärärztl. Zeitschr.
3234. H. Snellen. *De Verlichting bij Skiaskopie. Antwoord aan den Herrn J. D. (Koch.* Weekblad. No. 21. S. 649.
3235. H. Würdemann. *A simple skiaskope.* Americ. Journ. of Ophthalm. Vol. VIII S. 223.

1892.

3236. A. Antonelli. *Ottometro a Schiascopia.* Annali di Ottalmologia XXI. S. 219—221 Arch. d'Ophtalm. XII. S. 230—232.
3237. G. Bitzos. *La Skiascopie (Kératoscopie).* Paris. 96 S. Société d'éditions scientifiques
3238. S. M. Burnett. *Some incidental phenomena of the shadow test.* Med. News 5. Nov. — Transact. of the Americ. ophthalm. soc. S. 388. — Americ. Journ. o Ophthalm. August.
3239. Heddaeus. *Zur Skiaskopie.* Klin. Monatsbl. f. Augenhlkde. XXX. S. 326.
3240. W. E. Lambert. *Retinoscopy as a means of estimating astigmatism.* Read befor the Hospital Graduates Club. May 24. New York med. Journ. Vol. LVI. S. 239.
3241. E. Müller. *Zur Skiaskopie.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXX. S. 389—390
3242. H. Parent. *Exposé théorique du procédé d'optométrie ophtalmoscopique dit de Cuigne ou skiaskopie.* Arch. d'ophthalm. T. XII. S. 287—314.
3243. Rüppel. *Zur Skiaskopie. I. Mathematische Begründung der Iristheorie. II. Einfluß der Einstellung des untersuchenden Auges.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 38 (2.) S. 174—203.

1893.

3244. L. Bardelli. *La schiascopia. (Tesi de laurea. — Con note et aggiunte del Prof L. Guaita.)* Diss. — Ann. d'Ottalm. XXII. S. 171.
3245. G. Bitzos. *Encore quelques mots sur la skiaskopie.* Ann. d'Oculist. T. CIX. S. 347
3246. Dunn. *Some remarks upon retinoscopy as a means of determining the refraction o the nucleus of the lens.* Arch. of Ophthalm. XXII. S. 329. 333.
3247. C. Hess. *Zur Skiaskopie.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXXI. S. 153—160
3248. — *Demonstration eines Skiaskops.* Ber. d. XXIII. Vers. d. Ophthalm.Gesellsch S. 236.
3249. Jackson. *The position of the source of light and the observer in skiascopy or th shadow test.* Arch. of Ophthalm. XXII. S. 321. 328.
3250. R. Katz. *Ueber Skiaskopie.* Wratsch. No. 15.
3251. H. Truhart-Fellin. *Ueber Skiaskopie.* St. Petersb. med. Wochenschr. No. 8 S. 65.
3252. H. Wolf. *Ein neues Scheibenskiaskop mit selbstthätigem Spiegelapparat.* Klin. Monatsbl f. Augenheilkde. Bd. XXXI. S. 439—447.
3253. Ziem. *Ueber Durchleuchtung des Auges.* Wien. klin. Wochenschr. VI. S. 81—85 und S. 103—106.

1894.

3254. E. Jackson. *Die Sehzone der dioptrischen Medien und ihr Studium durch Skiaskopie.* Journ. Americ. med. Assoc. 1. Sept.
3255. R. Katz. *Ueber die Prüfung der Refraktion des Auges mit Hülfe der Skiaskopie.* (Russisch). Wratsch. No. 29.
3256. L. Kotchorowski. *Ueber die Skiaskopie.* (Russisch). Woienno med. Journ. April
3257. W. E. Lambert. *A refractometer for facilitating retinoscopy.* New York eye and ear infirmary Reports. II. S. 35.
3258. B. A. Randall. *Retinoskopie, als genaue Probe bei der Messung von Refraktionsstörungen.* Journ. Americ. med. Assoc. 1. Sept.
3259. P. Sgrosso. *Communications cliniques d'optometrie, ophthalmométrie, skiaskopie, etc.* Arch. di Ottalm. II.

3. Photographiren des Augenhintergrundes.

1865.

3260. A. M. Rosebrugh. *Sur un nouvel ophthalmoscope propre à photographier le fond de l'oeil.* Ophthalm. Rev. S. 119.

1887.

3261. E. Barr. *On photographing the interior of the human eyeball.* Americ. Journ. Ophthalm. IV. S. 181.
3262. L. Howe. *Photographs of the fundus of the living human eye.* Ophthalm. Rev. S. 304. — Transact. of the americ. ophthalm. soc. S. 568.
3263. Panel. *D'un moyen pratique de photographier le fond de l'oeil.* Paris, Delahaye und Lecrosnier.
3264. A. M. Rosebrugh. *Photographing the retinal image impressed on the living fundus oculi.* Torento. 8 S.

1888.

3265. H. Cohn. *Ueber Photographiren des Auges.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. März. S. 65. — Ber. des VII. intern. Ophthalm. Congr. zu Heidelberg S. 209.
3266. S. Segal. *Ein Apparat zum Photographiren des Augengrundes.* Abhandl. d. med. Sect. d. Ges. d. Exper.-Wiss. a. d. Univ. zu Charkow f. d. Jahr 1888. Heft 2. S. 41.

1891.

3267. O. Gerloff. *Ueber die Photographie des Augenhintergrundes.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. Bd. 29. S. 397—404.

1892.

3268. A. E. Fick. *Einige Bemerkungen über das Photographiren des Augenhintergrundes.* Ber. über die XXI. Vers. d. Ophthalm. Ges. S. 197.

1893.

3269. Th. Guilloz, *Photographie instantanée du fond de l'oeil humain.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (N. F.) V. 10. S. 285—286. — Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 465—480.

1894.

3270. L. Howe. *Orthochromatic plates for photographing the interior of the human eye.* Transact. of the ophthalm. soc. of the United Kingdom. Vol. XIV. Sess. 1893/94. S. 251. London, Churchill.

---

§ 17.

Von der Reizung des Sehnervenapparates.

Hinsichtlich der Litteratur über die allgemeine Lehre von den Empfindungen und der specifischen Energie der Sinnesorgane wird auf die betreffenden Zusammenstellungen in den gröfseren Lehr- und Handbüchern der Physiologie und Psychologie verwiesen.

1. Mitempfindungen.

1786.

3271. L. Hoffmann. *Versuch einer Geschichte der malerischen Harmonie.* Halle.

1812.

3272. G. T. L. Sachs. *Historia naturalis duorum leucöthiopum auctoris ipsius et sororis ejus.* Diss. inaug. Erlangen. S. 81 ff.

1824.

3273. J. H. G. Schlegel. *Neue Materialien für die Staatsarzneikunde.* Meiningen. S. 98 ff.

1843.

3274. Th. Gautier. La Presse. 10. Juillet 1843.

1848.

3275. Ch. A. E. Cornaz. *Des abnormités congénitals des yeux et de leurs annexe* Lausanne. S. 149—150.

1849.

3276. E. Wartmann. *Deuxième Mémoire sur le Daltonisme.* Genève. S. 16.

1851.

3277. Ch. A. E. Cornaz. Ann. d'oculist. No. 1. S. 3.

1860.

3278. L. V. Marcé. *Des altérations de la sensibilité.* Thèse de Paris.

1863.

3279. Perroud. Mém. de la soc. des sc. méd. de Lyon. S. 37.

1864.

3280. Chaballier. *De la pseudochromesthésie.* Journ. de méd de Lyon. août. S. 92.

1868.

3281. E. Mach. *Ueber die Abhängigkeit der Netzhautstellen von einander.* Prag. Be S. 10—11.

1872.

3282. Dvorák. *Ueber eine Anwendung des Gesetzes der gegenseitigen Einwirkung benac barter Netzhautstellen.* Prag. Ber. (1.) S. 73—74.

1873.

3283. F. A. Nussbaumer. *Ueber subjective Farbenempfindungen, die durch objective Gehö empfindungen erzeugt werden.* Wien. med. Wochenschr. No. 1—3.

1879.

3284. Appia. *De la corrélation physiologique entre les cinq sens et de leurs rapports av les mouvements volontaires. Application à l'éducation des aveugles.* Paris. Impr merie Nation.

1881.

3285. E. Bleuler und K. Lehmann. *Zwangsmäfsige Lichtempfindungen durch Schall un verwandte Erscheinungen auf dem Gebiete der anderen Sinnesempfindungen.* Leipzi Fries. 96 S.

3286. H. Kaiser. *Association der Worte mit Farben.* Arch. f. Augenheilkde. X S. 96.

3287. Schenkl. *Casuistischer Beitrag zur Association der Worte mit Farben.* Prag. me Wochenschr. VI. 48. S. 473.

1882.

3288. E. Aglave. *De l'audition des couleurs.* Assoc. franç. par l'avanc. d. sc. Augus Rec. d'Ophtalm. S. 571.

3289. G. Mayerhausen. *Ueber Association der Klänge speciell der Worte mit Farbe* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XX. S. 383.

3290. Pedrono. *De l'audition colorée.* Ann. d'Oculist. 88. S. 224.

3291. Urbantschitsch. *Ueber den Einflufs der Erkrankungen des äufseren und mittler Ohres auf die Sinnesempfindungen, insbesondere auf den Gesichtssinn.* Wie med. Bl. No. 42.

1883.

3292. H. Kaiser. *Association der Worte mit Farben.* Memorab. XXVII. S. 524.

3293. F. Lussana. *Sur l'audition colorée.* Arch. Ital. de Biol. IV. S. 289.

3294. Schenkl. *Ueber Association der Worte mit Farben.* Prag. med. Wochensch No. 10 u. 11.

3295. V. Urbantschitsch. *Ueber die Wechselwirkungen der innerhalb eines Sinnesgebiet gesetzten Erregungen.* Pflüger's Arch. XXXI. S. 280.

1884.

3296. R. Hilbert. *Ueber Association von Geschmacks- und Geruchsempfindungen mit Farb und Association von Klängen mit Formvorstellungen.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkd S. 1.

3297. F. Lussana. *Sull' udizione colorata.* Arch. ital. per le malatti neurose. XX 5 Sett.

1885.

3298. J. de Briale. *La musique des couleurs.* La Nature. XIII. 2. S. 343.

3299. A. Charpentier. *Sur les connexions fonctionelles des deux rétines.* Compt. Ren de la Soc. de Biol. II. S. 364.

3300. Girandeau. *De l'audition colorée.* L'Encéphale. No. 5.

3301. Pflüger. *Ueber Erregungen und Miterregungen im Bereiche homonymer Gesichtsfeldbezirke.* Tagebl. d. LVIII. Vers. dtsch. Naturf. u. Ärzte in Strafsburg. S. 257.

3302. A. de Rochas. *L'audition colorée.* La Nature. XIII. 1. S. 306, 406. XIII. 2. S. 274.

1886.

3303. A. Schiele. *Ueber Miterregungen im Bereiche homonymer Gesichtsfeldbezirke.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 145.

1887.

3304. A. Schiele. *On co-excitation in the regions of homonymous visual fields.* Englisch von H. Knapp. Arch. Ophthalm. New York. XVI. S. 317.

3305. Schmidt-Rimpler. *Ueber den Einflufs peripherer Netzhautreizung auf das centrale Sehen.* Ber. d. XIX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 76.

3306. H. Steinbrügge. *Ueber secundäre Sinnesempfindungen.* Akademische Antrittsrede. Wiesbaden, J. F. Bergmann.

3307. Urbantschitsch. *Ueber den Einflufs einer Sinneserregung auf die übrigen Sinnesempfindungen.* Berl. klin. Wochenschr. S. 1025.

1888.

3308. Baratoux. *L'audition colorée.* Paris, Delahaye et Lecrosnier.

3309. A. Charpentier. *Influence de l'excitation d'un oeil sur l'acuité visuelle de l'autre.* Compt. Rend. de la Soc de Biol. V. S. 15.

3310. P. Grützner. *Ueber den Einflufs einer Sinneserregung auf die übrigen Sinnesempfindungen.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 44.

311. Lauret und Duchaussoy. *Un cas héréditaire d'audition colorée.* Bull. de la Soc. de psychol. physiol. III. S. 11.

312. V. Urbantschitsch. *Ueber den Einflufs einer Sinneserregung auf die übrigen Sinnesempfindungen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLIII. S. 3.

1889.

313. P. Albertoni. *Ueber Beziehungen zwischen Farben und Tönen.* Centralbl. f. Physiol. S. 345—347.

314. R. Rampoldi. *Sui rapporti fisiologici che esistono tragli apparati della vista e dell' udito.* Ann. di Ottalm. XVIII. S. 163.

1890.

315. F. Suarez de Mendoza. *L'audition coloré. Etude sur les fausses sensations secondaires physiologiques et particulièrement sur les pseudo-sensations des couleurs associées aux perceptions objectives des sons.* Paris. Octave Doin. 164 p. et 13 tableaux.

316. A. J. G. Wahlstedt. *Zwei Fälle von Farbenhören.* Verhandl. des biologischen Vereins in Stockholm. III.

1891.

17. A. Chauveau. *Sur les sensations chromatiques excitées dans l'un des deux yeux par la lumière colorée qui éclaire la rétine de l'autre oeil.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. CXIII. S. 394—398.

18. Ch. Feré. *Gustation et vision coloré.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 33. S. 769.

19. P. Sollier. *Gustation colorée.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 32. S. 763 bis 764.

1892.

20. H. Beaunis et A. Binet. *Sur deux cas d'audition colorée.* Rev. philos. Bd. 33. S. 448—461.

21. A. Binet. *Le problème de l'audition colorée.* Rev. des Deux Mondes. Tome 113. S. 586—614.

22. A. Binet et Philippe. *Etude sur un nouveau cas d'audition colorée.* Rev. philos. Bd. 33. S. 461—464.

23. Th. Flournoy. *Enquête sur l'audition colorée.* Arch. d. Sc. physiol. et natur. Bd. 28. S. 505—508.

24. W. O. Krohn. *Pseudo-Chromesthesia, or the association of colors with words, letters and sounds.* Americ. Journ. of Psychol. V. S. 20—41.

25. J. Millet. *Audition colorée.* Paris, Doin. 81 S.

26. E. B. Titchener. *Ueber binoculare Wirkungen monocularer Reize.* Diss. Leipzig. 80 S. — Wundt's Philos. Stud. VIII. 2. S. 231—310.

1893.

3327. Groenouw. *Giebt es eine Miterregung im Bereiche homonymer Gesichtsfeldbezirl wie sie Schiele beschrieben hat?* Arch. f. Augenheilkde. XXVII. S. 112—133.

1894.

3328. A. E. Fick. *Ueber die Frage, ob zwischen den Netzhäuten eines Augenpaares e sympathischer Zusammenhang besteht.* Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. in Züric Jahrg. XL.

2. Mechanische Reizung.

1706.

3329. J. Newton. *Optice. Quaestio XVI.*

1774.

3330. Eichel. *Experimenta circa sensum videndi.* Collectan. soc. med. Havniensis.

1797.

3331. A. v. Humboldt. *Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser.* II. 444.

1801.

3332. Th. Young. *On the mechanism of the eye.* Phil. Transact. I. 23.

1819.

3333. *Purkinje. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* I. 78. 126. 13

1825.

3334. Magendie. Journ. de Physiol. IV. 180. V. 189.
3335. Purkinje. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* II. S. 115.

1826.

3336. J. Müller. *Ueber die phantastischen Gesichtserscheinungen.* Coblenz. S. 30.

1832.

3337. D. Brewster. Pogg. Annal. XXVI. 156. — Philos. Mag. I. 56.

1833.

3338. Seiler. Henke's Zeitschrift f. gerichtl. Med. 4. Quartal. S. 266.

1834.

3339. Lincke. *De fungo medullari.* Lipsiae.
3340. Quetelet. Pogg. Ann. XXXI. 494.
3341. J. Müller in seinem Arch. für Anat. und Physiol. S. 140.

1840.

3342. Tourtual in J. Müller's Handbuch der Physiologie. II. 259.

1850.

3343. Serres d'Uzès. *Du phosphène.* Compt. Rend. XXXI. 375—378.

1854 und 55.

3344. *Czermak. *Physiologische Studien.* Abth. I. § 5. S. 42 und Abth. II. S. 32. — Wie Sitzgs.-Ber. XII. S. 322 und XV. S. 454.

1856.

3345. A. E. Laiblin. *Die Wahrnehmung der Choroidealgefäfse des eigenen Auges.* Disser Tübingen.
3346. Meissner. *Bericht über die Fortschritte der Physiologie im Jahre 1856.* S. 568 i Henle's Zeitschr. f. ration. Med.

1858.

3347. J. Czermak. *Ueber das Accommodationsphosphen.* Wien. Ber. XXVII. S. 78—8 Arch. f. Ophthalm. VII. (1.) S. 147—154.

1863.

3348. R. Schelske. *Ueber Farbenempfindungen.* Arch. f. Ophthalm. IX. (3.) S. 39—6

1864.

3349. H. Aubert. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau. S. 333—390.
3350. A. Fick. *Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Sinnesorgane.* S. 270.

1870.

3351. V. Szokalski. *Phosphene besonderer Art.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. VIII. S. 14

1874.

3352. E. Berlin. *Ueber das Accommodationsphosphen.* Arch. f. Ophthalm. XX (1) S. 8
3353. Reich. *Ueber einige subjective Erscheinungen bei gesteigertem intraocularen Druc* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 238.

1878.

3354. S. Exner. *Zur Kenntnifs von der Regeneration in der Netzhaut.* Pflüger's Arch. 16. S. 407. — Dtsch. Zeitschr. f. prakt. Med. No. 10.

3355. W. Kühne. *Beobachtung über Druckblindheit.* Unters. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. Bd. II. S. 46—58.

1879.

3356. S. Exner. *Weitere Untersuchungen über die Regeneration in der Netzhaut und über Druckblindheit.* Arch. f. d. ges. Physiol. XX. S. 614—626.

1881.

3357. H. Schmidt-Rimpler. *Ueber die specifische Reaction der Sehnerven auf mechanische Reize.* Sitzgs-Ber. d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturwiss. No. 4. S. 46—48.

1882.

3358. H. Schmidt-Rimpler. *Zur specifischen Reaction der Sehnerven auf mechanische Reize.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XX. S. 1.

1883.

3359. Landesberg. *Is the mechanical irritation of the optic nerve always followed by a sensation of light?* Med. Bull. Phil. 1882/83. XIII. S. 359.

1884.

3360. Landesberg. *Bewirkt die mechanische Reizung des Sehnervenstammes die Auslösung einer Lichtempfindung?* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 7.

1885.

361. W. Filehne. *Ueber die Entstehungsart des Lichtstaubes, der Starrblindheit und der Nachbilder.* Gräfe's Arch. XXXI. (2.) 1—30.

1886.

362. C. Günther. *Subjective Gesichtserscheinung des elliptischen Lichtstreifens.* Tagebl. d. LIX. Vers. dtsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 417.

1887.

363. C. Günther. *Ueber die subjective Gesichtserscheinung der elliptischen Lichtstreifen.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 19. S. 400.

1889.

364. Koller. *Experimental Scotoma by pressure on the eyeball.* Arch. of Ophthalm. XVII. 2.

1891.

365. J. W. Park. *Subjective light sensations following enucleation of the eyeball.* Arch. of Ophthalm. July. — Supplement to the Brit. med. Journ. No. 1601. September 5.

366. S. L. Ssegal. *Ueber die Phosphene im Auge an der Berührungsstelle.* Westnik Oftalmologii. März-April.

3. Elektrische Reizung.

1755.

67. Le Roy. Mém. de Mathém. de l'Acad. de France. S. 86—92.

1793.

68. Pfaff. *De electricitate sic dicta animale.* Stuttgart. Diss. Deutsch in Gren's Journal der Physik. VIII. S. 252. 253.

1795.

69. Pfaff. *Ueber thierische Electricität und Reizbarkeit.* Leipzig. S. 142.

1798.

70. Ritter. *Beweis, dafs ein beständiger Galvanismus den Lebensprocefs im Thierreiche begleite.* Weimar. S. 127.

1800.

71. Volta. *Colezione dell' Opere.* II. 2. S. 124.

72. Ritter. *Beiträge zur näheren Kenntnifs des Galvanismus.* Bd. II. St. 3. 4. S. 159. 166. § 93.

1801.

73. *Ritter. *Versuche und Bemerkungen über den Galvanismus.* Gilbert's Ann. VII. S. 448.

1805.

74. Ritter. *Neue Versuche und Bemerkungen über den Galvanismus.* Gilbert's Ann. XIX. S. 6—8.

1819.

3375. Purkinje. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* Bd. 1. Prag S. 50.

1823.

3376. Most. *Ueber die grofsen Heilkräfte des in unseren Tagen mit Unrecht vernachlässigten Galvanismus.* Lüneburg. S. 812.

1825.

3377. Purkinje. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* II. S. 2? Berlin. — Kastner's Arch. f. d. ges. Naturlehre. V. S. 434.

1829.

3378. G. Th. Fechner. *Lehrbuch des Galvanismus und der Electrochemie.* Kap. 39. S. 485 f.

1830.

3379. Hjort. *De Functione retinae nervosae.* Part. II. Christiania. (Diss.) S. 31. § 1?

1848.

3380. E. du Bois-Reymond. *Untersuchungen über thierische Electricität.* I. S. 283—293; 338—358.

1872.

3381. Rosenthal. *Einwirkung des electrischen Stromes auf die Centren der Sinnesorgane und die Haut.* Allg. Wien. med. Ztg. No. 27 u. 28.

1874.

3382. H. Schliephake. *Beiträge zur Kenntnifs der Einwirkung des galvanischen Stromes auf das menschliche Auge. (Wirkung der Santoninvergiftung auf den Einflufs des galvanischen Stromes.)* Pflüger's Arch. f. Physiol. VIII. S. 565.

1880.

3383. B. Tscherbatscheff. *Ueber die Wirkung des constanten Stromes auf das normale Auge.* Diss. Bern.

1884.

3384. C. Emery. *Un phosphène électrique normal.* Arch. Ital. de Biol. V. S. 325.

1885.

3385. W. Ehrhardt. *Ueber den Einflufs elektrischer Ströme auf das Gesichtsfeld.* Diss. München. Centralbl. f. d. med. Wiss. 1886. No. 10.

1888.

3386. d'Arsonval. *Surdité consécutive à l'action de la lumière électrique sur la rétine.* Soc. de Biol. 23. Juni.

1889.

3387. O. Schwarz. *Ueber die Wirkung des constanten Stromes auf das normale Auge.* Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. Bd. XXI. S. 500.

1892.

3388. G. Grijns. *Bijdrage tot de physiologie van den nervus opticus.* Onderz. Physiol. Labor. Utrecht. IV. Reeks. I. Deel. No. 2.

1893.

3389. A. Hoche. *Ueber die galvanische Reaction des Sehapparates.* Vortr. auf d. XVII. Wandervers. d. Neurol. zu Baden-Baden. 1892.

1894.

3390. L. O. Finkelstein. *Ueber optische Phänome bei electrischer Reizung des Sehapparates.* Arch. f. Psychiatr. XXVI. S. 867—885.

§ 18.

Von der Reizung durch Licht.

1. Blinder Fleck und Ort der lichtempfindlichen Schicht.

1668.

3391. MARIOTTE. *Oeuvres.* S. 496—546; ferner in *Mém. de l'Acad. de Paris 1669 et 1682.* Philos. Transact. II. S. 668. Acta Eruditorum. 1683. S. 68.

1670.

3392. PECQUET. Philos. Transact. XIII. S. 171.
3393. PERRAULT. Philos. Transact. XIII. S. 265.

1694.

3394. DE LA HIRE. *Accidens de la vue.*

1704.

3395. MERY. Hist. de l'Acad. de Paris.

1709.

3396. DE LA HIRE. *Explication de quelques faits d'optique et de la manière dont se fait la vision.* Hist. de l'Acad. de Paris. S. 119.

1711.

3397. DE LA HIRE. Hist. de l'Acad. de Paris. S. 102.

1728.

3398. D. BERNOUILLI. *Experimenta circum nervum opticum.* Comment. Petropol. vet. I. S. 314.

1738.

3399. SMITH. *Optics.* Cambridge. Remarks. S. 6. (Dtsch. Ausg. S. 367.)

1740.

3400. LE CAT. *Traité des sens.* Rouen. S. 171, 176—180.

1755.

3401. ZINN. *Descriptio oculi humani.* S. 37.

1757.

3402. A. HALLER. *Physiologia.* V. S. 357, 474.

1759.

3403. PORTERFIELD. *On the eye.* II. S. 252, 254.

1772.

3404. MICHELL. *Priestley's Geschichte der Optik.* 4. Per. 5. Abth. 2. Kap. (Dtsch. Ausg. S. 149.)

1819.

3405. PURKINJE. *Beobachtungen und Versuche.* I. S. 70 u. 83.

1835.

3406. D. BREWSTER. Pogg. Ann. XXIX. S. 339.
3407. G. R. TREVIRANUS. *Beiträge zur Aufklärung der Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens.* Bremen.

1838.

3408. GRIFFIN. *Contributions to the physiology of vision.* London med. gaz. Mai. S. 230.

1840.

3409. J. MÜLLER. *Handbuch der Physiologie.* II. S. 370.

1844.

3410. VALENTIN. *Lehrbuch der Physiologie.* 1. Ausg. II. S. 444.

1846.

3411. A. W. VOLKMANN. Art.: *Sehen* in Wagner's Handwörterb. d. Physiol. III. S. 272.

1850.

3412. A. HANNOVER. *Bidrag til Odets Anatomie, Physiologie og Pathologie.* Kjöbenhavn. VI. S. 61.

1851.

3413. H. HELMHOLTZ. *Beschreibung eines Augenspiegels.* Berlin. S. 39.

1852.

3414. E. H. Weber. *Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge.* Verh. d. Leipz. Ges. S. 138.

3415. A. Koelliker. *Zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Verh. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg. 3. Juli.

3416. F. C. Donders. Onderzoekingen gedaan in het physiol. Laborat. d. Utrecht'sche Hoegeschool. VI. S. 134.

1853.

3417. D. Brewster. *Account of a case of vision without retina.* Rep. of the British Assoc. at Belfast. S. 3.

3418. A. Fick und P. du Bois-Reymond. *Ueber die unempfindliche Stelle der Netzhaut im menschlichen Auge.* J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 396.

3419. A. Coccius. *Die Anwendung des Augenspiegels.* Leipzig. S. 20.

3420. A. W. Volkmann. *Ueber einige Gesichtsphänomene, welche mit dem Vorhandensein eines unempfindlichen Fleckes im Auge zusammenhängen.* Ber. d. Leipz. Ges. d. Wiss. S. 27.

1854.

3421. C. Bergmann. *Zur Kenntnifs des gelben Flecks der Netzhaut.* Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. (2.) S. 245—252.

3422. J. Czermak. *Ueber die unempfindliche Stelle der Retina im menschlichen Auge.* Wien. Ber. XII. S. 360.

1855.

3423. J. Budge. *Beobachtungen über die blinde Stelle der Netzhaut.* Verh. d. naturhist. Vereins d. Rheinlande. S. XLI.

3424. J. Czermak. *Ueber die unempfindliche Stelle der Retina im menschlichen Auge.* Wien. Ber. XV. S. 454.

3425. H. Müller. Verh. d. phys. med. Ges. zu Würzburg. IV. S. 100. V. S. 411—446.

1856.

3426. *H. Müller. *Anatomisch physiologische Untersuchungen über die Retina bei Menschen und Thieren.* Siebold u. Kölliker's Zeitschr. f. wiss. Zool. VIII. S. 1—122.

1857.

3427. H. Aubert und Förster. *Ueber den blinden Fleck und die scharfsehende Stelle im Auge.* Berl. allg. med. Centralztg. No. 33. S. 259 u. 260.

1859.

3428. A. Coccius. *Ueber Glaukom, Entzündung und die Autopsie mit dem Augenspiegel.* Leipzig. S. 40 u. 52.

3429. E. Wiesener. *De macula Mariottiana.*

1860.

3430. G. Braun. *Notiz zur Anatomie der Stäbchenschicht der Netzhaut.* Wien. Ber. XLII. S. 15—19.

3431. G. M. Cavallieri. *Sul punto cieco dell' occhio.* Atti dell' Istit. Lomb. II. S. 89 bis 91.

1861.

3432. H. Müller. *Bemerkungen über die Zapfen am gelben Fleck des Menschen.* Würzb. Zeitschr. f. Naturkde. II. S. 218—221.

1862.

3433. A. W. Volkmann. *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Heft 1. S. 65. Leipzig.

1863.

3434. Wittich. *Studien über den blinden Fleck.* Arch. f. Ophthalm. IX. 3. S. 1—38.

1864.

3435. W. Zehender. *Historische Notiz zur Lehre vom blinden Fleck.* Arch. f. Ophthalm. X. (1.) S. 152—155.

1866.

3436. O. Funke. *Zur Lehre vom blinden Fleck.* Freib. Ber. III. 3. S. 1—15.

1867.

3437. Giraud-Teulon. *Instrument zur Messung der Sehnerven-Papille.* Klin. Mon.-Bl. V. S. 297.

1869.

3438. M. Woinow. *Ueber das Sehen mit dem blinden Fleck und seiner Umgebung.* Arch. f. Ophthalm. XV. (2.) S. 155—166.

1871.

3439. W. Dobrowolsky. *Ueber den Abstand zwischen Fovea centralis und dem Centrum des blinden Fleckes in Augen von verschiedener Refraction.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 437—453.

3440. Dubrunfaut. *Sur quelques particularités des perceptions visuelles objectives et subjectives.* Mondes XXVI. S. 77. — Compt. Rend. Bd. 73. S. 752.

3341. — *Vision.* Institut S. 102.

3442. E. Landolt. *Die directe Entfernung zwischen Macula lutea und Nervus opticus.* Med. Centralbl. 45.

1872.

3443. E. Landolt. *La distanza diretta tra la macula lutea e la papilla del nervo ottico.* Giorn. d'ottalmologia del Prof. Quaglino. II. 1. S. 1.

1883.

3444. S. Exner. *Die mangelhafte Erregbarkeit der Netzhaut für Licht von abnormer Einfallsrichtung.* Wien. Akad. Ber. 88. III. Heft. — Exner's Rep. d. Physik. S. 233—237.

3445. Stricker. *Ueber die lichtempfindenden Apparate der Retina.* Sitzg. d. k. k. Ges. d. Aerzte in Wien. 30. März 1883. Wien. Med. Presse, No. 14.

1884.

3446. W. Dobrowolsky. *Ueber den Unterschied in der Farbenempfindung bei Reizung der Netzhaut an einer und an mehreren Stellen zu gleicher Zeit.* Pflüg. Arch. f. Physiol. XXXV. S. 537—541. — St. Petersb. med. Woch.-Schr. S. 398.

1885.

3447. Schleich. *Untersuchungen über die Gröfse des blinden Fleckes und seine räumlichen Beziehungen zum Fixationspunkte.* Mitth. a. d. ophthalm. Klin. in Tübingen. II. S. 181.

1886.

3448. S. Exner. *Ueber die Functionsweise der Netzhautperipherie und den Sitz der Nachbilder.* Graefe's Arch. f. Ophth. XXXII (1). S. 233—252.

1890.

3449. V. Basevi. *Ueber die directe Entfernung der negativen physiologischen Scotome von dem Fixirpunkt und dem Mariotte'schen Fleck.* Arch. f. Augenheilkde. XXXII. S. 1—10.

1892.

3450. M. Botto. *Recherches sur la position et l'étendue de la tache de Mariotte dans les yeux myopes.* Actes du congr. ophthalm. de Palermo. — Ann. d'ophthalm. XXII. 1.

1893.

3451. M. Botto. *Ricerche sulla posizione ed extensione della regione cieca dell Mariotte negli occhi miopi.* Ann. di Ottalm. XXII. S. 42.

1894.

3452. J. Gad. *Der Energieumsatz in der Retina.* du Bois' Arch. f. Physiol. S. 491—503.

3453. A. König u. J. Zumft. *Ueber die lichtempfindliche Schicht in der Netzhaut des menschlichen Auges.* Sitzgs. Ber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin. S. 439—442.

2. Vorgänge in der Netzhaut und in dem Sehnerven bei einfallendem Lichte. — Sehpurpur.

1865.

3454. Fr. Holmgren. *Methode, um die Wirkung von Lichteindrücken auf die Retina objektiv kenntlich zu machen.* Upsala Läkaref. Förh. I. S. 177—191.

1870.

3455. V. Bravais. *Du rôle de la choroide dans la vision.* Acad. imp. de Méd. 4. Jan. Gaz. des hôp. S. 6.

1871.

3456. F. Holmgren. *Om retinaströmmen. (Ueber die Retinaströme.)* Upsala Läkaref. Förh. VI. S. 419—455.

1872.

3457. S. Exner. *Ueber den Erregungsvorgang im Sehnervenapparat.* Wien. acad. Ber. 65. (3) S. 59—70.

3458. Tait. *Note on a singular property of the retina.* Proc. of the Roy. Soc. of Edinb. VII. S. 605—607.

1873.

3459. J. Dewar u. J. Mac Kendrick. *The physiological action of light.* Journ. of Anat. and Physiol. XII. S. 275—285.

1874.

3460. J. Dewar and J. Mac Kendrick. *On the physiological action of light.* Part. I. Edinburgh.

1875.

3461. M. Duval. *Sur l'action physiologique de la lumière.* Mondes (2.) XXXVII. S. 324—335.
3462. J. Dewar. *L'action physiologique de la lumière.* Rev. Scientif. Ve année. 2e série. S. 516—520.

1876.

3463. F. Boll. *Zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Berl. Ber. 23. Novbr.

1877.

3464. H. Adler. *Mittheilungen über das Vorkommen des Sehroth (Sehpurpur) im Menschenauge.* Wien. med. Presse. XVIII. S. 950—952.
3465. — *Beobachtungen über das Vorkommen von Sehpurpur am kranken und verletzten Menschenauge.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 14. S. 242—245.
3466. O. Becker. *Ueber die ophthalmoskopische Sichtbarkeit des Sehroth.* Ber. d. Heidelb. Ophthalm. Congr.
3467. F. Boll. *Zur Physiologie des Sehens und der Farbenempfindung.* Berl. Ber. 11. Jan. u. 15. Febr. — Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 23.
3468. — *Zur Anatomie und Physiologie der Netzhaut.* Du Bois-Reymond's Arch. f. Physiol. S. 3. — Memorie della Acad. dei Lincei. 4. S. 25. In französ. Uebersetzung. Ann. d'Oculist. LXXVII. S. 221—263.
3469. — *Sull' anatomia e fisiologia della retina.* C. tav. color. Firenze.
3470. St. Capranica. *Physiologisch-chemische Untersuchungen über die farbigen Substanzen der Retina.* Du Bois' Arch. f- Physiol. S. 282—296.
3471. A. Chodin. *Ueber die chemische Reaction der Netzhaut und des Sehnerven.* Wien. Ber. 19. Juli. — Milit.-med. Monatsschr. December.
3472. — *Ueber die Veränderungen der Retina unter dem Einflusse des Lichts.* Med. Bote. No. 50—51.
3473. A. Coccius. *Diagnose des Sehroth am Lebenden.* Univ.-Progr. 3. Juni. Leipzig.
3474. J. Dewar. *L'action physiologique de la lumière. 2e partie.* Rev. Scientif. (2.) XII. S. 1245—1251.
3475. Dietl u. Plenk. *Ueber den Sehpurpur.* Mitth. a. d. med.-naturwiss. Ver. zu Innsbruck. 7. Februar.
3476. — *Untersuchungen über die Wahrnehmbarkeit des Sehpurpurs (Sehroth) mit dem Ophthalmoskope.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XV. No. 16. S. 277.
3477. A. Ewald. *Ueber Optographie und die dazu erforderlichen Apparate.* Beil. z. d. klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 105—109.
3478. A. Ewald u. W. Kühne. *Untersuchungen über den Sehpurpur.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 138—218. S. 248—290. S. 370—422.
3479. S. Exner. *Ueber den Sehpurpur.* Wien. med. Wochenschr. No. 8.
3480. E. Fuchs. *Zur Farbe der Netzhaut.* Wien. med. Wochenschr. No. 10. S. 221.
3481. Helfreich. *Ophthalmoskopische Mittheilungen über den Purpur der Retina.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XV. S. 113—115.
3482. Horner. *Ueber Sehroth.* Centralbl. f. Augenkeilkde. Sept.-Hft. Beil.
3483. L. Königstein. *Ueber den Sehpurpur.* Wien. med. Presse. XVIII. No. 12.
3484. — *Ueber Sehpurpur und dessen Diagnose mit dem Augenspiegel.* Wien. med. Presse. XVIII. No. 18
3485. W. Kühne. *Ueber den Sehpurpur.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 11.
3486. — *Ueber den Sehpurpur.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 15—105.
3487. — *Ueber das Vorkommen des Sehpurpurs.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XV. S. 257.
3488. — *Ueber die Verbreitung des Sehpurpurs im menschlichen Auge.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 105—108.
3489. — *Weitere Beobachtungen über den Sehpurpur des Menschen.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 109—113.

3490. W. Kühne. *Das Sehen ohne Sehpurpur.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 119—138.
3491. — *Les colorations de la rétine et la photographie dans l'oeil.* Rev. Scient. VI. (2.) S. 841—845.
3492. — *Zur Photochemie der Netzhaut.* Heidelberg, C. Winter. — Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 1—15.
3493. — *Optographische Untersuchungen.* Centralbl. f. d. med. Wiss. 20. u. 27. Jan.
3494. — *Ueber die Darstellung von Optogrammen im Froschauge.* Unters. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 225—241.
3495. W. Kühne u. A. Ewald. *Ueber künstliche Bildung des Sehpurpurs.* Med. Centralbl. XV. S. 753.
3496. F. Leydig. *Die Farbe der Retina und das Leuchten der Augen.* Arch. f. Naturg. XLIII. S. 121—126.
3497. J. Michel. *Zur Kenntnifs des Sehroths.* Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 432.
3498. H. Schmidt-Rimpler. *Sehroth bei einem Amaurotischen und Bemerkungen über die ophthalmoskopische Farbe der Macula und des Augenhintergrundes.* Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 400—401.
3499. — *Zur Lichtempfindung an der Stelle des congenitalen Choroideal-Colombom.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (4.) S. 176—179.
3500. J. Schnabel. *Notiz zur Lehre vom Sehpurpur.* Wien. med. Wochenschr. S. 258—259.
3501. *Sur la coloration rouge de la rétine.* Ann. d'Oculist. LXXVII. S. 77—81; 202—211.
3502. *Coloration pourprée de la rétine d'après Mssrs. Boll et Kühne.* Journ. de l'anat. et de physiol. XIII. S. 313—320.

1878.

3503. Ayres u. Kühne. *Ueber Regeneration des Sehpurpurs.* Unters. a. d. physiol. Inst. zu Heidelberg. II. S. 215—240.
3504. S. Exner. *Zur Kenntnifs von der Regeneration in der Netzhaut.* Pflüg. Arch. XVI. S. 407.
3505. Giraud-Teulon. *Fixation des images sur la rétine et pourpre rétinien.* Bull. de l'Acad. de méd. No. 32. — Arch. génér. Oct.
3506. — *Sur la persistance des images sur la rétine. Rapport concernant les expériences relatives au pourpre de la rétine.* Mondes 2. Sér. XLVI. S. 707.
3507. G. Haltenhoff. *Resumé des travaux publiés sur le pourpre visuel.* Arch. d. Sc. physiol. et natur. de Genève. LXI.
3508. V. Hensen. *Ueber Sehpurpur bei Mollusken.* Zool. Anz. I. No. 2. S. 30.
3509. Hjort. *Ueber den Sehpurpur.* Norsk Mag. 3 R. VIII. 1. Forh. S. 205.
3510. F. Holmgren. *Ueber Sehpurpur und Retinaströme.* Heidelb. physiol. Unters. II. Heft 1.
3511. — *Ueber Sehpurpur und Retinaströme.* Upsala Läkaref. Förh. S. 666—673.
3512. W. Kühne. *Fortgesetzte Untersuchungen über die Retina und die Pigmente des Auges.* Heidelb. Unters. II. S. 89—105 und S. 105—133.
3513. — *Beobachtungen an der frischen Netzhaut des Menschen.* Heidelb. Unters. II. S. 69—80.
3514. — *On the Photochemistry of the Retina and on visual Purple.* Aus d. Deutschen übers. von Foerster. London, Macmillan & Co.
3515. — *Notizen zur Anatomie und Physiologie der Netzhaut. (Macula lutea und fovea centralis.)* Heidelb. physiol. Unters II. S. 378—384.
3516. — *Sur le pourpre visuel.* Uebers. von Dufour. Ann. d'Oculist. Bd. 79. S. 32—46.
3517. — *Addition to the Article: „On the Stable Colours of the Retina."* Journ. of Physiol. I. (2.) S. 189—192.
3518. — *Nachträge zu den Abhandlungen über den Sehpurpur.* Heidelb. physiol. Unters. I. S. 455—470.
3519. — *Notiz über die Netzhaut der Eule.* Heidelb. physiol. Unters. II. S. 257—259.
3520. — *Zur Abwehr einiger Irrthümer über das Verhalten des Sehpurpurs.* Heidelb. physiol. Unters. II. S. 254—257.
3521. W. Kühne u. W. C. Ayres. *Ueber lichtbeständige Farben der Netzhaut.* Heidelb physiol. Unters. I. S. 341—369. — Englisch von Dr. Ayres in Journ. of Physiol. I. (2.) 109—130.
3522. F. W. Krukenberg. *Der Stäbchenpurpur des Cephalopodenauges.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I.
3523. — *Ueber die Stäbchenfarbe der Cephalopoden.* Heidelb. Unters. II. S. 58—61.
3524. Masoin. *L'oeil comme appareil photographique.* Louvain.
3525. Tixier. *Ueber Fixirung von Bildern auf der Netzhaut.* Bull. de l'Acad. August.

1879.

3526. W. C. Ayres. *Zum chemischen Verhalten des Sehpurpurs.* Heidelb. Unters. II. S. 444—447.

3527. M. H. Beauregard. *Contribution à l'étude du rouge rétinien.* Journ. de l'Anat. et de la Physiol. XV. (2.) S. 161—174.

3528. Bouchardt. *La lumière et son action sur l'oeil.* Arch. d'Ophthalm. Bd. 82. S. 104. — Rev. Scient. IX. (2). No. 7. S. 145—150.

3529. Chittenden. *Beiträge zur Histochemie des Sehepithels.* Unters. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. II. S. 437—443.

3530. Dränert. *Der Sehpurpur.* Westermann's Monatsh. Juni. S. 379.

3531. S. Exner. *Weitere Untersuchungen über die Regeneration in der Netzhaut und über Druckblindheit.* Arch. f. d. ges. Physiol. XX. S. 614—626.

3532. O. Haab *Der Sehpurpur und seine Beziehungen zum Sehact.* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. IX.

3533. — *Die Farbe der Macula lutea und die entoptische Wahrnehmung des Sehpurpurs.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XVII. October.

3534. Heuse. *Ueber Sehroth und Sehpurpur.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 29.

3535. Fr. Holmgren. *Ueber die Retinaströme.* Heidelberger physiol. Unters. III.

3536. W. Kühne. *Chemische Vorgänge in der Netzhaut.* Handb. d. Physiol. von L. Hermann. III. (1.) S. 235—342.

3537. — *Notiz über die Netzhautfarbe belichteter menschlicher Augen.* Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. III. S. 194—197.

3538. E. Nettleship. *Observations of Visual Purple in the Human Eye.* Journ. of Physiol. II. (1.) S. 38—41.

3539. C. Puglia. *Sulla porpora visuale; osservazioni sperimentali e note.* Ann. di Ottalm. VII. S. 568—587. — Gaz. méd. de Paris. 12. Juli.

1880.

3540. P. Albertoni. *Sul rosso della retina nel feto e nel neonato.* Lo Sperimentale. Juni.

3541. W. E. Ayres. *Visual Purple.* New-York. med. Journ. XXXII. S. 189.

3542. M. H. Beauregard. *Beitrag zum Studium des Retinarothes.* Journ. de l'Anat. et de la Physiol. S. 161.

3543. H. R. Bigelow. *The action of the visual purple in the Eel.* New York. Med.-Rec. XVIII. (2.) S. 37.

3544. Brigidi u. Tafani. *Sul rosso retinico.* Lo Sperimentale.

3545. Chittenden. *Notiz über die Netzhautfarbe beleuchteter menschlicher Augen.* Heidelb. physiol. Unters. III.

3546. F. Holmgren. *Ueber Retinaströme.* Upsala Läkaref. Förh. XV. S. 480—481.

3547. F. Klug. *Verhalten des Sehpurpurs gegen dunkle Wärmestrahlen.* Heidelb. physiol. Unters. III. S. 418.

3548. W. Kühne u. H. Sewall. *On the physiology of the retinal epithelium.* Journ. of Physiol. III. S. 88—92.

3549. — *Zur Physiologie des Sehepithels.* Heidelb. Unters. III. S. 221—277.

3550. W. Kühne u. J. Steiner. *Ueber das electromotorische Verhalten der Netzhaut.* Heidelb. physiol. Unters. III. S. 327.

1881.

3551. A. Angelucci. *Sull' azione della luce e dei colori sull' epitelio retinico.* Gaz. med. di Roma. VIII. — Ann. di Ottalm. X. 6. S. 518—528.

3552. W. C. Ayres. *The physiology of the visual purple.* New-York. med. Journ. XXXIII. 5. S. 552.

3553. — *Permanent pictures on the retina.* New-York. med. Journ. XXXIII. 3. S. 321.

3554. F. Boll. *Thesen und Hypothesen zur Licht- und Farbenempfindung.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. S. 1—38.

3555. W. Kühne u. J. Steiner. *Ueber elektrische Vorgänge im Sehorgan.* Heidelb. physiol. Unters. Bd. IV. S. 64—168.

3556. E. Landolt. *Des fonctions rétiniennes.* Arch. d'ophthalm. I. S. 193—211.

3557. Parinaud. *L'héméralopie et les fonctions du pourpre visuel.* Compt. Rend. Bd. 93. No. 5. S. 286. — Gaz. méd. de Paris. No. 34. S. 484.

1882.

3558. A. Angelucci. *De l'action de la lumière et des couleurs sur l'épithelium rétinien* Ann. Soc. de méd. de Gand. LX. S. 100.

3559. N. Bernardy. *Du pourpre rétinien et de sa sécrétion.* Nancy. 61 S.

3560. A. Charpentier. *Nouvelles recherches sur la sensibilité de la rétine.* Arch. d'ophthalm. S. 234.

3561. Chittenden. *Beiträge zur Histochemie des Sehepithels.* Heidelb. Unters. II. S. 488.

3562. de Haas. *Umsetzung von Licht in Erregung zum Sehen.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 219.

3563. W. Kühne. *Bemerkungen zu Herrn Hoppe-Seyler's Darstellung der Optochemie.* Heidelb. Unters. II. S. 488—492.

3564. — *Beiträge zur Optochemie.* Heidelb. Unters. IV. S. 169—252.

3565. — *Beobachtungen zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Heidelb. Unters. IV. S. 280—284.

3566. Mořechovez. *Sur les processes photochimiques de la vision.* Moscau. Leçon pour l'agrégation. 25. Februar.

1883.

3567. S. Exner. *Die mangelhafte Erregbarkeit der Netzhaut für Licht von abnormer Einfallsrichtung.* Wien. Acad. Ber. 88. III. — Exner's Rep. d. Physik.

3568. Stricker. *Ueber die lichtempfindenden Apparate der Retina.* Stzgs.-Ber. d. k. k. Ges. d. Aerzte in Wien. 30. März. — Wien. med. Presse. No. 14.

1884.

3569. A. Charpentier. *Nouvelles recherches analytiques sur les fonctions visuelles.* Arch. d'ophthalm. S. 291.

570. Th. W. Engelmann. *Ueber Bewegungen der Zapfen und Pigmentzellen der Netzhaut unter dem Einfluſs des Lichtes und des Nervensystems.* Pflüger's Arch. XXXV. S. 498 bis 508.

571. A. G. H. van Genderen-Stort. *De bewegingen van kegels en pigment in der retina onder den invloed van het licht.* Acad. Wetenshappen te Amsterdam Afd. Natuurk. 28. juni.

572. — *Bewegingen der kegels van het netvlies onder den invloed van licht and duister.* Akad. van Wetenschappen te Amsterdam, Afd. Natuurk. 29 maart.

573. H. Sewall. *On the physiological effects of light which enters the eye through the sclerotic coat.* Journ. of Physiol. and Anat. S. 132.

1885.

574. A. Angelucci. *Una nueva teoria sobre la vision.* Bolet. de la clin. oft. del Hospit. de Santa Cruz. No. 2. 3. 4. S. 20. 35. 54.

575. — *Une nouvelle theorie sur la vision.* Franz. von Parisotti. Rec. d.Ophthalm. S. 220.

576. E. Berthold. *Ueber die objectiv wahrnehmbaren Veränderungen der belichteten Netzhaut.* Königsberger Schriften. XXVI. S. 18—21.

77. Charpentier. *Réponse aux observations de Parinaud à propos des fonctions des éléments rétiniens.* Compt. Rend. CI. S. 976—977.

78. H. Dreser. *Zur Chemie der Netzhautstäbchen.* Zeitschr. f. Biol. XXII. S. 23.

79. P. Ehrlich. *Das Sauerstoffbedürfniſs des Organismus.* Eine farbenanalytische Studie. Berlin. 167 S.

80. Th. W. Engelmann und A. G. H. van Genderen-Stort. *Over de staafjes-en kegellaag van het netvlies der duif.* Akad. van Wetenschappen te Amsterdam, Afd. Natuurk. 28 maart.

81. Gradenigo. *Ueber den Einfluſs des Lichtes und der Wärme auf die Retina des Frosches.* Allg. Wien. med. Ztg. XXX. S. 343. 353. — Gazz. d. osp. Milano. VI. S. 378. 587.

82. Parinaud. *Influence inégale de l'adaptation rétinienne sur les lumières de réfrangibilité différente; la sensibilité dans la macula et les parties periphériques; rôle du pourpre visuel.* Bull. et mém. Soc. franç. d'ophthalm. III. S. 329.

83. — *Nouvelle réplique à la réponse de Charpentier à propos des fonctions des éléments rétiniens.* Compt. Rend. CI. S. 1078.

1886.

84. A. Angelucci. *Une nouvelle théorie de la vision.* Rec. d'Ophthalm. S. 34.

85. — *Una nuova theoria sulla visione. Terza comunicazione preventiva.* Cagliare.

86. R. Dubois. *De l'action de la lumière émise par les êtres vivants sur la rétine et sur les plaques au gélatino-bromure.* Soc. de Biol. 20. März.

87. H. Dreser. *Zur Chemie der Netzhautstäbchen.* Zeitschr. f. Biol. XXII. S. 23—39.

88. S. Exner. *Ueber die Functionsweise der Netzhautperipherie und den Sitz der Nachbilder.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. XXXVII. (1.) S. 9.

3589. A. G. H. van Genderen-Stort. *Ueber Form- und Ortsveränderungen der Elemente in der Sehzellenschicht nach Beleuchtung.* Ber. üb. d. XVIII. Vers. d. ophthalm. Ges. Heft 2. S. 43.
3590. — *Mouvements des élements de la rétine sous l'influence de la lumière.* Arch. néerl. XXI. 316—386. Holländisch in: Onderz. Physiol. Labor. Utrecht. III. R. X Dl.
3591. Gradenigo. *Intorno all' influenza della luce e del calore sulla retina della rana.* Mitth. a. d. embryol. Inst. von Schenk.
3592. Parinaud. *Anesthésie de la rétine. Contribution à l'étude de la sensibilité visuelle.* Acad. roy. de Méd. de Belgique.

1887.

3593. A. Angelucci. *Une nouvelle théorie sur la vision, troisième communication.* Franz. v. Parisotti. Rec. d'Ophthalm. S. 394.
3594. Emmert. *Ueber die Vorgänge in der Netzhaut beim Sehen.* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. S. 254.
3595. Fieuzal. *Les verres gris-jaunes et les mouvements des éléments rétiniens.* Bull. de la clin. nat. ophthalm. de l'hôp. des Quinze-Vingts. S. 73.
3596. A. G. H. van Genderen-Stort. *Ueber Form- und Ortsveränderungen der Netzhautelemente unter Einflufs von Licht und Dunkel.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. (3.) S. 229.
3597. — *Bewegingen van de elementen der retine onder den invloed van het licht.* Utrecht. Unters. (3.) X. S. 183—259. Arch. néerl. Bd. XXI. S. 316—386.

1888.

3598. R. M. Gunn. *On the nature of light-percipient organs and of light-perception.* Ophthalm. Hosp. Report. XII. 2. S. 101.
3599. D. J. Hamburger. *Staafjesrood in monochromatisch light.* Feestbundel a. F. C. Donders. Amsterdam. S. 285.
3600. — *De doorsnyding van den Nervus opticus etc. (Durchschneidung des Nervus opticus bei Fröschen, mit Bezug auf die Bewegung von Pigment und Zapfen in der Netzhaut unter dem Einflufs von Licht und Dunkel.)* Donders-Feestbundel van het Tydschr. v. Geneesk. S. 264.

1889.

3601. A. Angelucci. *Recherches sur la fonction visuelle et la rétine et du cerveau.* Rec. d'Ophthalm. S. 1. 201. 269. 332. 604. 660.
3602. D. Axenfeld. *Contribution à l'optique physiologique.* Arch. Ital. de Biol. XII. S. 10—12.
3603. S. Exner. *Durch Licht bedingte Verschiebungen des Pigments im Insectenauge und deren physiologische Bedeutung.* Wien. Stzgs.-Ber. XCVIII. 3. S. 143—154. Auch separat. Wien. Tempsky. 9 S.
3604. A. E. Fick. *Ueber Lichtwirkungen auf die Netzhaut des Frosches.* Ber. d. Ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 177.

1890.

3605. A. Angelucci. *Recherches sur la fonction visuelle de la rétine et du cerveau.* Rec. d'Ophthalm. S. 3—24.
3606. — *Untersuchungen über die Sehthätigkeit der Netzhaut. [Aus: Untersuchungen zur Naturlehre der Menschen und der Thiere.]* Giefsen, Roth. S. 231—357.
3607. Arcoleo. *Osservazioni sperimentali sugli elementi contrattili della retina negli animali a sangue freddo.* Ann. di Ottalm. XIX. S. 253.
3608. A. E. Fick. *Ueber die Ursachen der Pigmentwanderung in der Netzhaut.* Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. in Zürich. 1.

1891.

3609. E. Beraneck u. L. Verrey. *Sur une nouvelle fonction de la Choroïde.* Bull. de la Soc. de sc. natur. de Neuchâtel. XX.
3610. A. E. Fick. *Untersuchung über die Pigmentwanderung in der Netzhaut des Frosches.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. XXXVII. (2.) S. 1—20.

1893.

3611. E. Gaglio. *Le modificazioni del pigmento all' oscurità ed alla luce nella retina della rana.* Arch. di Ottalm. I. S. 225.
3612. W. Nahmacher. *Ueber den Einflufs reflectorischer und centraler Opticusreizung auf die Stellung der Zapfen in der Froschnetzhaut.* Physiol. Lab. Utrecht. II. 2. S. 184. — Pflüger's Arch. Bd. 53. S. 375—387.

1894.

3613. Birnbacher. *Ueber eine Farbenreaction der belichteten und unbelichteten Netzhaut.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. XL (5.) S. 1—7.

3614. S. Fuchs. *Untersuchungen über die im Gefolge der Belichtung auftretenden galvanischen Vorgänge in der Netzhaut und ihren zeitlichen Verlauf.* I. Mitth. Pflüger's Arch. Bd. 56. S. 408—463.

3615. J. Gad. *Der Energieumsatz in der Retina.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. 1894. S. 491—503.

3616. A. König. *Ueber den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen.* Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin. S. 577—598.

3617. J. v. Kries. *Ueber den Einfluſs der Adaptation auf Licht- und Farbenempfindung und über die Function der Stäbchen.* Ber. d. naturf. Ges. zu Freiburg i. B. IX, 2. S. 61—70. — Auch sep. Freiburg i. B., Mohr. 14 S.

3618. Parinaud. *La sensibilité de l'oeil aux couleurs spectrales; fonctions des éléments rétiniens et du pourpre visuel.* Ann. d'oculist. Bd. 112. S. 228.

3. Genauigkeit des Sehens. — Sehproben.

Hier ist auch die Litteratur zu § 11, 1, 2, 5 und 6, sowie zu 21,3 zu beachten.

1705.

619. R. Hooke. *Posthumous works.* S. 12 u. 97.

1738.

620. Smith. *Optics.* I. S. 31. (Uebersetzung S. 29.)

621. Jurin. *Essay on distinct and indistinct vision.* In Smith Optics. S. 149.

1752.

622. Courtivron. Hist. de l'Acad. de Paris. S. 200.

1754.

623. Tob. Mayer. Comment. Gotting. IV. S. 97 u. 135.

1759.

624. Porterfield. *On the eye.* II. S. 58.

1824.

625. Amici. In Ferussac bull. sc. math. S. 221.

1829.

626. Lehot. In Ferussac bull. sc. math. XII. S. 417.

1830.

627. Holke. *Disquis. de acie oculi dextri et sinistri.* Lipsiae.

1831.

628. Ehrenberg. Pogg. Ann. XXIV. S. 36.

1840.

629. Hueck. *Ueber die Grenzen des Sehvermögens.* J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 82.

630. J. Müller. *Handbuch der Physiologie.* II. S. 82.

1841.

631. Burow. *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* Berlin. S. 38.

1843.

632. H. Küchler. *Schriftnummerprobe für Gesichtsleidende.* Darmstadt.

1846.

633. A. W. Volkmann. Art.: *Sehen* in Wagner's Handwörterb. d. Physiol. III. S. 331 u. 335.

1849.

634. Marié Davy. Institut. No. 790. S. 59.

1850.

635. W. Petrie. Institut. No. 886. S. 415.

1852.

636. E. H. Weber. *Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge.* Verhandl. d. sächs. Ges. S. 145.

1854.

637. A. Smee. *The eye in health and disease.* London. S. 70.

638. E. Jäger. *Schriftscalen.* Wien.

1855.

3639. Stellwag v. Carion. *Die Accommodationsfehler des Auges.* Sitz.-Ber. d. Wie[illegible] Akad. v. 12. April 1855.

1857.

3640. Aubert u. Förster. *Beiträge zur Kenntnifs des indirecten Sehens. Ueber d[illegible] Raumsinn der Netzhaut.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. III. (2.) S. 1.
3641. Bergmann. Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. (3.) II. S. 88. — Molesc[illegible] Untersuch. IV. S. 16.

1862.

3642. H. Snellen. *Letterproeven tot bepaling der gezigtsscherpte.* Utrecht.
3643. — *Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe.* Berlin, Peters.
3644. J. Vroesom de Haan. *Onderzoek naar den invloed van den leeftijd op de gezig[illegible] scherpte.* Utrecht.

1863.

3645. Giraud-Teulon. *Echelle régulièrement progressive, destinée à servir à la mesu[illegible] exacte des différents degrés de netteté et d'étendue de la vue distincte.* Paris.
3646. K. Vierordt. *Ueber die Messung der Sehschärfe.* Arch. f. Ophthalm. IX. S. 219—22[illegible]

1864.

3647. O. Funke. *Zur Lehre von den Empfindungskreisen der Netzhaut.* Ber. d. natu[illegible] Ges. zu Freiburg i. Br. III. 2. S. 89—116.
3648. F. C. Donders. *Anomalies of accommodation and refraction.* London. S. 188—20[illegible]

1865.

3649. C. Bergmann. *Können die Zäpfchen der Fovea centralis retinae Scheinheiten sei[illegible]* Zeitschr. f. rat. Med. (3.) XXIII. S. 145—156.
3650. V. Hensen. *Ueber eine Einrichtung der Fovea centralis retinae, welche bezweckt, da[illegible] feinere Distanzen, als solche, die dem Durchmesser eines Zapfens entsprechen, no[illegible] unterschieden werden können.* Virchow's Arch. Bd. 34. S. 401.
3651. A. W. Volkmann. *Zur Entscheidung der Frage, ob die Zapfen der Netzhaut a[illegible] Raumelemente beim Sehen fungiren..* Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 395—403.

1866.

3652. H. Derby. *On the necessity of employing greater accuracy in ascertaining a[illegible] expressing the degree of acuteness of vision.* Transact. of the Americ. Ophthal[illegible] Soc. New York.
3653. A. W. Volkmann. *Weitere Untersuchungen über die Frage, ob die Zapfen der Netzha[illegible] als Raumelemente beim Sehen fungiren.* Reichert's u. Dubois' Arch. S. 649.

1867.

3654. Hensen. *Ueber das Sehen in der Fovea centralis.* Virchow's Arch. f. pathol. An[illegible] Bd. 39. S. 475.
3655. E. Jäger. *Schriftscalen.* 4. Aufl. Wien.

1869.

3656. J. Green. *On a new series of Test-Letters for determining the acuteness [illegible] vision.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. IV. u. V. S. 68.
3657. H. Snellen. *Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe.* 3. Aufl. Berli[illegible] Peters.
3658. M. Woinow. *Zur Bestimmung der Sehschärfe bei Ametropie.* Arch. f. Ophthal[illegible] XV. (2.) S. 144—154.

1870.

3659. Boettcher. *Geometrische Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe bei Functio[illegible] prüfungen des Auges mit besonderer Berücksichtigung der Untersuchung Milit[illegible] pflichtiger.* Berlin, H. Peters.
3660. M. Burchardt. *Internationale Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe und S[illegible] weite.* Kassel.
3661. G. Cowell. *Test-types, for determining the acuteness of vision, after, but sligt[illegible] smaller than those of Dr. H. Snellen.* London.
3662. H. Dor. *Kurze Anleitung zur Untersuchung der Sehschärfe.* Bern, Fiala.
3663. M. Reich. *Tafel von verschiedenen Zeichnungen für die Untersuchung der Sehschä[illegible] bei Leuten, die keine Buchstaben kennen.* Milit. med. Zeitschr. St. Petersburg. X

1871.

3664. M. Burchardt. *Internationale Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe und S[illegible] weite.* 2. Aufl. Kassel.

1872.

665. F. C. Donders. *Prakt. Opmerkingen over den invlued van hulplenzen op de Gezichtsscherpte.* XIII. Jaarl. Versl. van het Nederl. Gasth. v. Oogl. p. 123.

666. Jeffries. *Sehschärfe.* Klin. Mon.-Bl. X. S. 113.

667. H. Valerius. *Description d'un procédé pour mesurer l'avantage de la vision binoculaire sur la vision au moyen d'un seul oeil quant à l'éclat ou à la clarté des objets.* Bull. de l'acad. roy. de Belgique. 2. sér. XXXIV. No. 7. S. 34—43.

1873.

668. Burchardt. *Ueber hohe Grade von Sehschärfe.* Dtsch. militärärztl. Zeitschr. II. No. 11 u. 12.

669. J. Gempak. *Snellen's Lettertafeln im Japanischen.* Utrecht.

670. H. Snellen. *Test-Types for the determination of the acuteness of vision.* Berlin.

671. — *Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe.* 4. Aufl. Berlin.

672. Valerius. *Beschreibung eines Verfahrens zur Messung der Vorzüge des binocularen Sehens gegen das monoculare, in Betreff sowohl der Helligkeit als der Deutlichkeit.* Pogg. Ann. Bd. 150. S. 317—324.

1874.

673. H. Cohn. *Untersuchungen der Sehschärfe in der Jugend und im Alter.* Jahresber. d. schles. Ges.

674. G. Mitkiewitsch. *Zur Frage über die Schärfe des centralen Sehens und ihre Beziehung zu den Grenzen des Gesichtsfeldes in Augen verschiedener Brechbarkeit.* Diss. Petersburg. (Russisch.)

1875.

675. J. A. Brown. *On the power of the eye and the microscope to see parallel lines.* Proc. of the Roy. Soc. of London. XXIII. S. 522—532.

676. A. Ilen. *Ueber die Sehschärfe und Intensität der Lichtempfindung auf der Peripherie der Netzhaut.* Petersburg. — Diss. Militärärztl. Journ. Juni-Heft.

677. F. Monoyer. *Echelle typographique décimale pour mesurer l'acuité de la vue.* Compt. Rend. LXXX. S. 1137. — Gaz. méd. de Paris. No. 21.

678. H. Snellen. *Optotypi ad visum determinandum.* Utrecht und Berlin.

1876.

679. W. Dobrowolsky und A. Gaine. *Ueber die Sehschärfe (Formsinn) an der Peripherie der Netzhaut.* Pflüger's Arch. f. Physiol. XII. S. 411—432.

680. E. Emmert. *Veränderte Sehschärfe bei Druck auf's Auge.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. V. S. 400.

681. O. Königshöfer. *Das Distinctionsvermögen der peripheren Theile der Netzhaut.* Erlangen.

682. E. Regéczy. *Ueber das periphere Sehen.* (Ungarisch.) Orvosi Hetilop. No. 22 u. 26.

683. C. Schweigger. *Sehproben.* Berlin.

1877.

684. A. Charpentier. *De la vision avec les diverses parties de la rétine.* Paris, Masson. 55 S. — Arch. de Physiol. IX. S. 894—945.

685. J. Hirschberg. *Historisch kritische Notiz zur Lehre vom kleinsten Gesichtswinkel.* Verh. d. Berl. Physiol. Ges. v. 12. Jan. — Ophthalm. Hospit. Rep. IX. 1. S. 16—21.

686. E. Landolt. *Des rapports, qui existent entre l'acuité visuelle et la perception des couleurs au centre et aux parties excentriques de la rétine.* Gaz. méd. de Paris. No. 31. S. 378—380.

687. — *Ueber das Verhältniſs des Formsinnes zum Farbensinne im Centrum und in excentrischen Theilen der Netzhaut.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. I. S. 222 bis 223.

688. Ricco. *Sopra un fenomeno soggetivo di visione.* Ann. d. Ottal. VI. S. 547.

689. Seggel. *Ueber genaue Bestimmung der Sehschärfe und die Klassificirung einseitiger Amblyopien.* Dtsch. militärärztl. Zeitschr. VI. S. 153.

690. H. Snellen. *Optotypi ad visum determinandum.* Berlin. edit. 5.

691. L. de Wecker. *Échelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle.* Paris, Doin.

1878.

692. Albini. *Reflexionen über die typographische Scala zu optischen Proben.* Giorn. internat. d. sc. med. S. 52—56.

693. Badal. *Conférences d'optométrie.* (*Réfraction. Accommodation. Acuité visuelle. etc.*) Gaz. des Hôpit. No. 15. 19. 53. 73. 89. 105.

3694. J. Hirschberg. *Ueber graphische Darstellung der Netzhautfunction.* Arch. f. (Anat. u Physiol. II. S. 324—331.
3695. E. Jäger. *Schriftscalen.* 6. Aufl. Wien.
3696. M. Reich. *Einiges über die Augen der Armenier und Georgier.* Arch. f. Ophthal XXIV. 3. S. 231—238.

1879.

3697. Albini. *Ueber typographische Sehproben.* Giorn. intern. d. Sc. med. I. 1.
3698. A. Charpentier. *De la vision avec les diverses parties de la rétine.* Thèse. Par
3699. H. Cohn. *Sehschärfe und Farbensinn der Nubier.* Centralbl. f. prakt. Augenheilk III. S. 197—200.
3700. — *Sehschärfe und Farbensinn bei elektrischem Lichte.* Centralbl. f. prakt. Augenheilk III. S. 105—107.
3701. — *Vergleichende Messungen der Sehschärfe und des Farbensinnes bei Tages-, G und elektrischem Lichte.* Arch. f. Augenheilkde. VIII. S. 408.
3702. Giraud-Teulon. *Acuité visuelle.* Ann. d'Oculist. Bd. 81. Mai-Juni.
3703. Maurel. *Dimension minime de l'image rétinienne.* Arch. de méd. nav. X S. 265—280. — Gaz. hebdom. No. 28.
3704. Pouchet. *Note sur les moindres images rétiniennes.* Gaz. méd. de Paris. No. — Soc. de Biol. 12. Juli. — Gaz. hebdom. No. 29. S. 463.
3705. Reich. *Ueber die Sehschärfe bei den Georgiern.* Centralbl. f. prakt. Augenheilk III. S. 301—302.
3706. H. Schöler. *Ueber die Stellung der Ophthalmologie zur Anthropologie.* Virchov Arch. f. path. Anat. Bd. 78.
3707. H. Snellen. *Optotypi ad visum determinandum secundum formulam V =* Berlin, Peters.
3708. S. Talko. *Ein Fall von außerordentlicher Sehschärfe.* Ber. über d. 12. Vers. ophthalmol. Ges. z. Heidelberg. S. 114.

1880.

3709. H. Armaignac. *Quelques mots sur l'acuité visuelle et les échelles optométriques.* R d'oculist. du sud-ouest. I. 1. S. 5. 2. S. 25—33.
3710. Carveras-Arago. *Examen y mejora de la vision, seguido de una serie de cuad sinopticos y de unas tablas y escalas visuales cromaticas.* Barcelona.
3711. A. Charpentier. *Sur la sensibilité différentielle de l'oeil pour de petites surfaces.* Ac d. sc. 24 juillet. — Arch. génér. Nov.
3712. — *Sur la limite de petitesse des objects visibles.* Rev. méd. de l'Est. 1. Jan.
3713. Galezowski. *Échelles portatives des caractères des couleurs pour mesurer l'acu visuelle.* Paris, Baillière.
3714. E. Javal. *Acuité visuelle.* Gaz. des hôpit. No. 28. S. 221.
3715. Manolescu. *Recherches rélatives à l'étude de l'acuité visuelle; conditions de la v bilité des lignes et des points.* Soc. de Biol. 7. Febr. — Gaz. méd. No. 12. — A d'Oculist. LXXXIII. S. 55—62.
3716. Salzer. *Ueber die Anzahl der Sehnervenfasern und der Retinalzapfen im Auge Menschen.* Wien. Ber. Bd. 81. (3.)
3717. Talko. *Resultate der Bemessungen der Sehschärfe bei den Soldaten des Warscha Militärbezirks.* Kronika Rekarska. No. 2 u. 3. — Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilk XVIII. S. 139.
3718. Wood. *Ophthalmic Test-Types and Color-Blindness-Tests.* New York, Wood &

1881.

3719. G. Albini. *Tavole per le prove ottiche in oculistica precedute da alcune riflessi sulle scale tipografiche.* Neapel, Detken.
3720. Badal. *Sur l'angle visuel.* Soc. d'anat. et de physiol. de Bordeaux. I.
3721. C. du Bois-Reymond. *Zahl der Empfindungskreise in der Netzhautgrube.* Berl Diss. 31 S.
3722. R. Butz. *Vorläufige Mittheilungen über Untersuchungen der physiologischen Functio der Peripherie der Netzhaut.* Arch. f. (Anat. u.) Physiol. V. S. 437—445.
3723. U. Herzenstein. *Die Sehschärfe bei 27672 Soldaten des Charkow'schen Milit bezirks.* Beil. z. d. Sitzgs-Prot. d. Charkow'schen med. Ges. No. 1. — Centralbl prakt. Augenheilkde. V. S. 3—7.

1882.

24. A. Charpentier. *Recherches sur la distinction des points lumineux.* Arch. d'ophthalm. S. 382.
25. v. Fleischl. *Physiologisch-optische Notizen.* IV. Mittheilung. Sitzg. vom 9. Juni. Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. LXXXVI. 3. Abth.
26. E. Jäger. *Schrift-Scalen.* 7. Aufl. Wien.
27. Leroy. *Vision centrale, irradiation et acuité visuelle.* Arch. d'ophthalm. Jan., Febr. u. Juli-Aug.
28. G. Mayerhausen. *Zifferntafeln zur Bestimmung der Sehschärfe nach der Snellenschen Formel.* Berlin, Peters.
29. A. Nieden. *Schriftproben.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 89.

1883.

30. G. Becker. *Ueber excentrische Sehschärfe und ihre Abgrenzung von der centrischen.* Diss. Halle. Wiesbaden, Bergmann.
31. J. Bjerrum. *Untersuchungen über den Formen- und Lichtsinn.* Diss. Kopenhagen
32. Brailey. *On the tests of vision best adapted for service at sea.* Trans. Ophthalm Soc. U. K. II. S. 184.
33. Burchardt. *Internationale Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe und Sehweite* 3. Aufl. Kassel.
34. R. Butz. *Untersuchungen über die physiologischen Functionen der Peripherie der Netzhaut.* Diss. Dorpat.
35. A. Charpentier. *La perception des couleurs et la perception de formes.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 858 u. 1079.
36. E. v. Fleischl. *Die Vertheilung der Sehnervenfasern über die Zapfen der menschlichen Netzhaut.* Wien. Sitzgs.-Ber. Bd. 87. Abth. 3.
37. — *Zur Anatomie und Physiologie der Retina.* Biol. Centralbl. III. S. 309 u. 331.
38. Galezowski. *Échelles optométriques et chromatiques pour mesurer l'acuité de la vision, les limites du champ visuel et la faculté chromatique.* Paris.
39. R. Hilbert. *Ueber das excentrische Sehen.* Physik.-ökon. Ges. zu Königsberg. Bd. 24.
40. A. Nieden. *Schriftproben zur Bestimmung der Sehschärfe.* 2. Aufl. Wiesbaden.
41. Pflüger. *Optotypi.* Ber. d. Berner Univ.-Augenkl. S. 75.
42. Saskewitsch. *Einige Fälle aufserordentlicher Sehschärfe.* Wratsch. No. 1.
43. Schadow. *Die Augen der Schulkinder Borkums.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 150.
44. A. Schapringer. *An improvement in the arrangement of Snellen's test-types.* Med. Rec. New-York. XXIII. 3. S. 73.
45. Seggel. *Ueber die Augen der Feuerländer und das Sehen der Naturvölker im Verhältnifs zu dem der Culturvölker.* Arch. f. Anthrop. XIV. S. 3.

1884.

46. J. Bjerrum. *Untersuchungen über den Lichtsinn und den Raumsinn bei verschiedenen Augenkrankheiten.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. (2.) S. 201.
47. A. Charpentier. *Recherches sur la distinction des points noirs sur fond blanc.* Arch. d'Ophthalm. S. 193.
48. E. v. Fleischl. *Zur Physiologie der Retina.* Wien. med. Wochenschr. No. 10 u. 11.
49. M. de Lépinay und Nicati. *De l'acuité visuelle binoculaire.* Bull. de la Soc. franç. d'ophthalm. S. 56.
50. R. Maddox. *On distant vision.* Proc. of the Royal Soc. of London. 21. Januar. XII. S. 433.
51. G. Mayerhausen. *Ueber eine subjective Erscheinung bei Betrachtung von Contouren.* Graefe's Arch. XXX. (2.) S. 191—200.
52. E. Pflüger. *Optototypi (Sehproben).* Bern., Dalp.
53. Seggel. *Ueber normale Sehschärfe und die Beziehungen der Sehschärfe zur Refraction.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. (2.) S. 69—140.

1885.

54. Albini. *Tavole ottimetriche.* Neapel, Detken.
55. J. Rand Capron. *Civilisation and Eyesight.* Nature. XXXI. S. 359.
56. B. Carter. *Acuteness of vision.* Med. Tim. and Gaz. I. S. 461.
57. R. B. Carter u. G. A. Berry. *Civilisation and Eyesight.* Nature. XXXI. S. 386 bis 388.
58. J. W. Clark. *Civilisation and Eyesight.* Nature. XXXI. S. 433—434.

3759. J. Starkie Gardner. *Far-sightedness.* Nature. XXXI. S. 578.
3760. H. Guppy. *Civilisation and Eyesight.* Nature. XXXI. S. 503—504.
3761. E. Hill. *Far-sightedness.* Nature. XXXI. S. 553.
3762. J. Hippisley. *Far sightedness.* Nature. XXXI. S. 553.
3763. A. König. *Ueber den Gesichtssinn der Zulu-Kaffern.* Verhandl. d. Berl. Physil Ges. IV. S. 15—17.
3764. R. W. Lawson. *Acuteness of vision.* Med. Tim. and Gaz. I. S. 593.
3765. E. Metzger. *Far-sightedness.* Nature. XXXI. S. 506.
3766. Oliver. *A new series of metric test-letters for determining the acuity of direct visio for form.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 130. — Med. News. XLVI] S. 247.
3767. A. Shaw Page. *Long Sight.* Nature. XXXI. S. 103.
3768. Lord Rayleigh. *Civilisation and Eyesight.* Nature. XXXI. S. 340.
3769. Lord Rayleigh u. G. B. Buckton. *Civilisation and Eyesight.* Nature. XXX] S. 407—408.
3770. Ch. Roberts. *Education and eyesight.* Med. Tim. and Gaz. I. S. 173.
3771. — *Civilisation and Eyesight.* Nature. XXXI. S. 552—553.
3772. H. Snellen. *Optotypi ad visum determinandum.* 8. edit. Berlin.
3773. J. F. Tennant, S. Lupton, Lord Rayleigh u. A. Cummingham. *Civilisation an Eyesight.* Nature. XXXI. S. 457—458.
3774. *Sehproben, entworfen nach dem Metersystem zur Bestimmung der Sehschärf* Herausgegeben vom St. Peterburger Augenhospital.
3775. *Civilisation and Eyesight.* Science. VI. S. 195—196.

1886.

3776. E. Albini. *Della visione indiretta delle forme e dei colori.* Giorn. della R. Accac di Med. No. 7—8.
3777. L. Bellarminow. *Ueber den Werth der für die Bestimmung der Sehschärfe ai gewandten Sehproben.* Westnik ophthalm. Jan.-Febr.
3778. — *Ueber die Tauglichkeit und Genauigkeit der vorhandenen Probebuchstaben für d Bestimmung der Sehschärfe.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 284.
3779. Berry. *Note on the relative visual acuity of fully corrected axial ametropic* Ophthalm. Rev. S. 309.
3780. C. du Bois-Reymond. *Seheinheit und kleinster Sehwinkel.* Graefe's Arch. f. Ophthalm XXXII. (3.) S. 1.
3781. A. E. Bostwick. *On a means of determining the limits of distinct vision.* Science VIII. S. 232.
3782. H. Cohn. *Tafel zur Prüfung der Sehschärfe der Schulkinder, Soldaten und Bahn beamten.* Breslau.
3783. Csaspodi. *Sehproben.* Szemészet. S. 125.
3784. W. S. Dennet. *Test-type for popular use.* Ophthalm. Rev. S. 254.
3785. — *A new test-type.* Transact. of the americ. ophthalm. soc. 22. Vers. New-Londoı S. 245. — Americ. Journ. of Ophthalm. S. 259.
3786. S. Exner. *Ein Versuch über die Netzhautperipherie als Organ zur Wahrnehmung vo Bewegungen.* Pflüger's Arch. XXXVIII. S. 217—218.
3787. Wecker und Masselon. *Echelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle, le sen chromatique et le sens lumineux.* 2. Aufl. Paris, Doin.
3788. Wertheim. *Die Zahl der Seheinheiten in der Umgebung der Fovea.* Tagebl. c 59. Vers. d. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 418.

1887.

3789. G. Albini. *Sulla visione indiretta delle forme e dei colori.* Ann. di Ottalm. X\ S. 482.
3790. H. Cohn. *Tafel zur Prüfung der Sehschärfe der Schulkinder.* 2. Aufl. Breslaı Priebatsch.
3791. E. v. Jaeger. *Schrift-Scalen.* Wien, Seidel u. Sohn. 8. Aufl.
3792. T. Oughton. *Minima visibilia and sensory circles.* Lancet. I. S. 301 u. 364.
3793. Th. Wertheim. *Ueber die Zahl der Seheinheiten im mittleren Theile der Netzhau* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. (2.) S. 137.

1888.

3794. A. Charpentier. *Acuité visuelle et dynamogénie.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol V. No. 19.

795. Imbert. *De l'acuité visuelle.* Gaz. hebdom. de sc. méd. de Montpellier. X. S. 217.
796. Parinaud. *Echelle optométrique, acuité visuelle, perception de la lumière et des couleurs.* Paris, Roulot.

1889.

797. Abbott. *Test-types for the use of school-teachers.* London, Prichard and Curry.
798. A. Carl. *Ueber die Anwendung von Decimalbrüchen zur Bestimmung der Sehschärfe.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 469—472.
799. C. M. Cuiver. *Test-types.* Albany med. Ann. X. S. 321.
800. E. Landolt. *Opto-types simples.* Paris, O. Doin.
801. A. Lotz. *Internationale Sehprobentafel mit einfachsten Zeichen zur Bestimmung der Sehschärfe bei Nichtlesern und Kindern nach der Snellen'schen Formel* $v = \frac{d}{D}$. Basel, Sallmann & Bonacker.
802. G. Mitkjewitsch. *Schriftproben und Tafeln zur Untersuchung der Sehschärfe.* (Russisch.) Odessa.
803. A. Nieden. *Schrifttafeln zur Bestimmung der Sehschärfe für die Ferne.* N. F Wiesbaden, Bergmann.
804. Wecker et J. Masselon. *Echelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle.* Paris.
805. G. Weiss. *Du pouvoir séparateur de l'oeil.* Paris, F. Pichon. 13 S.

1890.

806. H. Cohn. *Tafeln zur Prüfung der Sehschärfe der Schulkinder, Soldaten und Bahnbeamten.* 3. Aufl. Breslau.
807. Galezowsky. *Echelles portatives des caractères et des couleurs, pour mesurer l'acuité visuelle.* 2. Aufl. Paris, Baillière.
808. Parent. *Echelle optométrique.* Compt. Rend. de la Soc. franç. d'Ophthalm. Rev. gén. S. 229.
809. M. Reich. *Nouveaux test-types pour la détermination de l'acuité visuelle.* (Russisch.) 5. Aufl. Tiflis.
810. C. Schweigger. *Sehproben.* 2. verb. Aufl. Berlin, Hirschwald. 7 S. u. 45 Taf.
811. H. Snellen. *Optotypi.* 10. Aufl. Berlin, Peters.
812. W. Uhthoff. *Ueber die kleinsten wahrnehmbaren Gesichtswinkel in den verschiedenen Theilen des Spectrums.* Zeitschr. f. Psychol. I. S. 155—160.
813. — *Weitere Untersuchungen über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Intensität, sowie von der Wellenlänge im Spectrum.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (1.) S. 33—61.

1891.

814. Becker. *Ein Apparat zur Sehschärfenbestimmung mit beweglichen Lesezeichen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XV. S. 171.
815. — *Ueber absolute und relative Sehschärfe bei verschiedenen Formen der Amblyopie.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. 29. S. 404—423.
816. H. Cohn. *Tafel zur Prüfung der Sehschärfe der Schulkinder, Soldaten, Seeleute und Bahnbeamten.* Breslau, Priebatsch.
817. Guillery. *Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe.* Wiesbaden, Bergmann. 6 Taf. u. 2 Hefte.
818. — *Ein Vorschlag zur Vereinfachung der Sehproben.* Arch. f. Augenheilkde. XXIII. S. 323—333.
819. Jackson. *Test for visual acuteness; their illumination and the standard of normal vision.* Journ. Americ. med. Assoc. 31. Januar.

1892.

820. Guillery. *Nochmals meine Sehproben.* Arch. f. Augenheilkde. XXVI. S. 79—84.
821. Liebrecht. *Kritische Bemerkungen zu Guillery's „Vorschlag zur Vereinfachung der Sehproben".* Arch. f. Augenheilkde. XXV. S. 37—41.
822. Schneller. *Sehproben zur Bestimmung der Refraction, Sehschärfe und Accommodation.* Danzig, Kafemann. 24 S.
823. A. Steiger. *Einheitliche Sehproben zur Untersuchung der Sehschärfe in die Ferne und in die Nähe.* Hamburg und Leipzig, L. Voss. 40 S. u. 1 Taf. Beitr. z. Augenheilkde. Heft 7.
824. Wolffberg. *Buchstaben-, Zahlen- und Bildertafeln nebst einer Abhandlung über die Sehschärfe.* Breslau, Preufs & Jünger.

1893.

3825. W. Albrand. *Sehproben.* Leipzig, H. Hartung u. Sohn. 4. Taf. 1 S. Text.
3826. Badal. *Considérations sur la mesure de l'acuité visuelle.* Soc. d'ophthalm. et d laryng. de Bordeaux, April. — Ann. d'Oculist. Bd. 110. S. 201.
3827. Berry. *On the relation between visual acuity and visual efficiency.* Transact. the ophthalm. soc. XIII. S. 223.
3828. D. Boerma und K. Walther. *Untersuchungen über die Abnahme der Sehschärfe i Alter.* Arch. f. Ophthalm. XXXIX. (2.) S. 71—82.
3829. M. Burchardt. *Internationale Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe und Seh weite.* 4. Aufl. Berlin, O. Enslin. 11 Taf u. 32 S.
3830. H. Cohn. *Tafel zur Prüfung der Sehschärfe der Schulkinder, Soldaten, Seeleute un Bahnbeamten.* Nach Snellen's Princip. 4. Aufl. Breslau, Priebatsch.
3831. Groenouw. *Ueber die Sehschärfe der Netzhautperipherie und eine neue Untersuchungs methode derselben.* Arch. f. Augenheilkde. XXVI. S. 85—133. — Hab.-Schr. Bres lau. 48 S. 1892.
3832. Guillery. *Zur Sehschärfebestimmung.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXI. S. 26 bis 266.
3833. Javal. *Ueber die Messung der Sehschärfe.* Franz. Ges. d. Augenheilkde. 11. Sitzun zu Paris 1.—4. Mai.
3834. Magawly. *Tafeln und Schriftproben zur Bestimmung der Sehschärfe.* 2. Auf St. Petersburg.
3835. *Tafeln und Schriftproben zur Bestimmung der Sehschärfe, entworfen nach dem Meter system.* Herausgegeb. v. d. St. Petersburger Augenheilanst. 2. verb. Aufl. St. Peters burg u. Leipzig, C. Ricker.

1894.

3836. H. Bordier. *Acuité visuelle des yeux amétropes. — Acuité vraie et acuité apparente.* Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 355—371.
3837. H. Cohn. *Ueber die Annahme der Sehschärfe im Alter.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (1.) S. 326—336.
3838. — *Transparente Sehproben.* (4 S. in deutsch., franz., engl. u. ital. Spr. m. 1 Taf. Wien, F. Deutike.
3839. Groenouw. *Acuité visuelle à la périphérie de la rétine. Nouvelle méthode pour l déterminer.* Arch. of Ophthalm. XXII. S. 502.
3840. Guillery. *Einiges über den Formensinn.* Arch. f. Augenheilkde. XXVIII S. 263—276.
3841. J. Hirschberg. *Zur Geschichte der Sehproben.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde XVIII. S. 320.
3842. W. Nicati. *Échelles visuelles et leurs applications.* Société d'éditions. — Ann. d'Oculist CXI. S. 413.
3843. H. Snellen. *Optotypi ad visum determinandum secundum formulam* $v = \frac{d}{D}$. 12. Ausg. Berlin, H. Peters. 34 Bl. m. 4 Taf.
3844. G. J. Stoney. *On the limits of vision: with special reference to the vision of insects.* Philos. Mag. Bd. 37. No. 226. S. 316—331.
3845. Th. Wertheim. *Ueber die indirecte Sehschärfe.* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 17 bis 187.

§ 19.

Die einfachen Farben.

Es gehört hierher auch ein Theil der Litteratur von § 20.

1. Aeltere Litteratur (bis Newton).

384—322 v. Ch.

3846. ARISTOTELES. *De coloribus.*

1571.

3847. JOH. FLEISCHER. *De iridibus doctrina Aristotelis et Vitellionis.* Vitembergae. S. 86.

1583.

3848. JO. BAPT. PORTA. *De refractione libri novem.* Napoli. Lib. IX.

1590.

3849. BERNARDINI TELESII *Opera.* Venetiis. De Iride et coloribus.

1611.

3850. M. ANTONIUS DE DOMINIS. *De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et Iride.* Venetiis.

1613.

3851. F. MAUROLYCUS. *De lumine et umbra.* Lugd. S. 57.

1637.

3852. CARTESIUS. *De meteoris.* Cap. VIII.

1646.

3853. A. KIRCHER. *Ars magna lucis et umbrae.* Romae.

1648.

3854. JO. MARCUS MARCI *Thaumantias, liber de arcu coelesti, deque colorum apparentium natura, ortu et caussis.* Pragae.

1662.

3855. J. VOSSIUS. *De lucis natura et proprietate.* Amstelodami.

1665.

3856. R. HOOKE. *Micrographia.* London. S. 64.

1670.

3857. BOYLE. *Experiments and considerations touching color.* London.

2. Newton und Göthe.

1672.

3858. J. NEWTON. *New theory of light and colours.* Philos. Transact.
3859. — *Some experiments proposed in relation to the new theory light.* Philos. Transact.
3860. — *Answer to the animadversions of Mr. J. G. Pardies. On the new theory of light.* Philos. Transact.
3861. — *A series of queries proposed to be determined by experiments positively and directly including the new theory of light and colours.* Philos. Transact.
3862. — *Second answer to Mr. Pardies.* Philos. Transact.
3863. — *Answer to some considerations of the doctrine of light and colours.* Philos. Transact.
3864. J. G. PARDIES. *Two letters containing some animadversions upon J. Newton's theory of light.* Philos. Transact.

1673.

3865. J. NEWTON. *Answer to a letter from Paris, further explaining the theory of light and colours and particulary that of whiteness.* Philos. Transact.
3866. — *On the number of colours and the necessity of mixing them all for the production of white.* Philos. Transact.

1675.

3867. J. NEWTON. *Considerations on the reply of Mr. Linus; together with further directions how to make the experiments controverted to right.* Philos. Transact.

1676.

3868. J. Newton. *A particular answer to Mr. Linus. Objections to his experiment with the prism.* Philos. Transact.

1689.

3869. G. A. Hamberger et Fischer. *De coloribus.* Jenae.

1704.

3870. J. Newton. *Optics or a treatease of the reflections, refractions, inflections and colours of light.* London. (Vollständige Ausarbeitung seiner optischen Entdeckungen.)

1711.

3871. De la Hire. *Sur quelques couleurs.* Mém. de l'Acad. des Sc. S. 100.

1727.

3872. Rizetti. *Specimen physico math. de luminis affectionibus.* Ven.

1728.

3873. J. Newton. *Optical lectures read in the public schools of the University of Cambridge.* London. (Lat. Uebersetzung: *Lectiones opticae, annis 1669—1671 in scholis publicis.* London 1729.)

1737.

3874. J. C. Le Blond. *Harmony of colouring.* London.

1740.

3875. Castel. *L'optique des couleurs.* Paris.

1746.

3876. L. Euler. *Nova theoria lucis colorum* in den *Opusculis varii argumenti.* Berol. S. 169—244.

1750.

3877. Gautier. *Chroagenesie ou génération des couleurs contre le système de Newton.* Paris.

1752.

3878. L. Euler. *Essai d'une explication physique des couleurs engendrées sur des surfaces extremement minces.* Mém. de l'Acad. de Berlin. S. 271.

3879. Gautier. *Observations sur l'histoire naturelle, sur la physique et la peinture.* Paris.

1754.

3880. Cominali. *Anti-Newtonianismus.* Napoli.

1762.

3881. J. P. Eberhard. *Versuch einer Erklärung von der Natur der Farben zur Erläuterung der Theorie Newtons.* Halle.

1780.

3882. Elliot. *Observations on the senses.* (Deutsch unter dem Titel: *Beobachtungen über die Sinne.* Leipzig 1785.)

3883. Marat. *Découvertes sur la lumière.* Paris.

1784.

3884. Marat. *Notions élémentaires d'optique.* Paris.

1791.

3885. J. W. Göthe. *Beiträge zur Optik. Erstes Stück.* Weimar. (Kritik in: Allgem. Jenaer Litteratur-Zeitung. Jahrg. 1792. No. 31. S. 241—145.)

1792.

3886. J. W. Göthe. *Beiträge zur Optik. Zweites Stück.* Weimar.

1793.

3887. F. A. C. Gren. *Einige Bemerkungen über des Herrn von Göthe Beiträge zur Optik.* Gren's Journ. d. Phys. VII. S. 3—21.

1794.

3888. Wünsch. *Kosmologische Unterhaltungen.*

1810.

3889. J. W. Göthe. *Zur Farbenlehre.* 2 Bde. J. G. Cotta. 1810. Stuttgart. — (Besprechungen und Anzeigen finden sich: Neue oberdeutsche allgemeine Litteratur-Zeitung. 2. Jahrg. 2. Hälfte. S. 25—32. — Neue Leipziger Litteratur-Zeitung. Bd. III. S. 1629—1632. — Heidelberger Jahrbücher der Litteratur. 3. Jahrg. 4. Abth. S. 289—307. — Annales de Chimie. 1811 [übersetzt in Gilbert's Ann. d. Physik. Bd. 40. S. 103—115]. — Göttinger gelehrter Anzeiger. 22. Juni 1811. S. 977—990. — Hallesche Allgemeine Litteratur-Zeitung. 29. Jan. 1811. S. 233—240. 30. Jan. 1811. S. 241—347 u. 31. Jan. 1811. S. 249—255. — Ergänzungsblätter zur Jenaischen allgemeinen Litteratur-Zeitung. (1813.) 1. Jahrg. 1. Bd. No. 3—6. S. 17—44. — The Quarterly Review. 1814. Vol. X. No. XX.)

3890. Mollweide. *Bemerkungen zu Göthe's Polemik gegen Newton.* Zach's monatliche Correspondenz. XXII. S. 91—93.
3891. M. Klotz. Kritischer Anzeiger für Litteratur und Kunst. No. 30—33. München.
1811.
3892. Parrot. *Grundrifs der Physik.* 2. Th. Dorpat u. Riga.
3893. Seebeck. *Von den Farben und dem Verhalten derselben gegen einander.* Schweigger's Journ. Bd. I. S. 4—12.
3894. Mollweide. *Demonstratio propositionis quae theoriae colorum Newtoni fundamenti loco est.* Lipsiae.
3895. C. H. Pfaff. *Ueber die farbigen Säume der Nebenbilder des Doppelspats mit besonderer Berücksichtigung von Goethe's Erklärung der Farbenentstehung durch Nebenbilder.* Schweigger's Jahrbücher. VI. S. 177.
3896. Poselger. *Der farbige Rand eines durch ein biconvexes Glas entstehenden Bildes mit Bezug auf Göthe's Farbenlehre.* Gilbert's Ann. XXXVII. S. 135.
1812.
3897. J. F. Benzenberg. *Briefe, geschrieben auf einer Reise durch die Schweiz.* Düssel dorf 1812. 2. Bd. 26. u. 34. Brief.
1813.
3898. P. Prevost. *Quelques remarques d'optique.* Bibliothèque Britannique. Tome 53. S. 18—29.
3899. C. H. Pfaff. *Ueber Newton's Farbentheorie, Herrn v. Göthe's Farbenlehre und den chemischen Gegensatz der Farben.* Leipzig, F. C. W. Vogel. — (Besprechungen finden sich in: Göttinger gelehrte Anzeigen. 15. Mai 1813. S. 761—768. — Heidelb. Jahrbücher der Litteratur. 1814. 7. Jahrg. 1. Hälfte. S. 417—430.)
1816.
3900. *Ueber physiologe Gesichts- und Farbenerscheinungen.* Schweigger's Journ. XVI. S. 121—157.
3901. M. Klotz. *Gründliche Farbenlehre.* München.
1817.
3902. J. W. v. Göthe. *Die entoptischen Farben.* Zur Naturwissenschaft. S. 126—190.
3903. Werneburg. *Merkwürdige Phänomene durch verschiedene Prismen zur richtigen Würdigung Newton'scher und Goethe'scher Farbenlehre.* Nürnberg.
1822.
3904. L. v. Henning. *Einleitung zu öffentlichen Vorlesungen über Göthe's Farbenlehre, gehalten an der königl. Universität zu Berlin.* Berlin 1822.
1823.
3905. Bourgeois. *Manuel d'optique expérimentale.* Paris. 2 Bände.
1826.
3906. Joh. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes.* Leipzig 1826. S. 391—434.
1827.
3907. Brandes. Art. *Farbe* in Gehler's neuem physik. Wörterbuch.
1830.
3908. A. Hueck. *Das Sehen seinem äufseren Processe nach entwickelt.* Riga.
1833.
3909. Reuther. *Ueber Licht und Farbe.* Kassel.
3910. Steffens. *Ueber die Bedeutung der Farben in der Natur. Schriften alt und neu.*
1835.
3911. Helwag. *Newton's Farbenlehre aus ihren richtigen Principien berichtigt.* Lübeck.
3912. Moser. *Ueber Goethe's Farbenlehre.* Abhandl. d. Königsb. dtsch. Ges.
1836.
3913. Lloyd. *Abrifs einer Geschichte der Fortschritte und des gegenwärtigen Zustandes der physischen Optik,* übersetzt von Kloeden.
1853.
3914. H. Helmholtz. *Ueber Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten.* Kieler Monatsschrift für Wissenschaft und Lit. Mai. S. 383—398. — Popul. Wiss. Vortr. 1. H. Braunschweig. 1865 u. 1876. — Vorträge u. Reden. Bd. I. Braunschweig. 1884.
1857.
3915. Grävell. *Goethe im Recht gegen Newton.* Berlin. — Recensirt von Q. Icilius in Kekule's kritischer Zeitschr. f. Chemie, Physik u. Math. Erlangen 1858. (2/3.)

1858.

3916. A. Aderholdt. *Ueber Goethe's Farbenlehre.* Weimar.

1859.

3917. Grävell. *Ueber Licht und Farben mit besonderer Beziehung auf die Farbenlehre Newton's und Goethe's.* Berlin.

1860.

3918. Grävell. *Die zu sühnende Schuld gegen Goethe.* Berlin.

1862.

3919. R. Hantzsch. *Goethe's Farbenlehre und die Farbenlehre der heutigen Physik.* Dresden.

1863.

3920. J. K. Bähr. *Vorträge über Newton's und Goethe's Farbenlehre.* Dresden.

1874.

3921. N. Plüss. *Die Begründung der Farbenlehre durch Newton und ihre Bekämpfung durch Goethe.* Basel.

1878.

3922. Goethe's *Werke.* Bd. 35 u. 36. Mit Einleitung und Anmerkungen herausgegeben von S. Kalischer. Berlin, G. Hempel.

1880.

3923. J. Tyndall. *Une théorie des couleurs de Goethe.* Rev. scient. 19. Juni. — Ann. d'Ocul. Bd. 84. S. 192—202.

3924. — *Goethe's Farbenlehre.* Pop. Scien. Rev. June 1880.

3925. O. N. Rood. *Newton's use of the term Indigo with reference to colour of the Spectrum.* Sillim. Journ. (3.) XIX. S. 135—137.

1883.

3926. A. König. *Ueber Goethe's Bezeichnung der von ihm beobachteteten Fälle von Farbenblindheit als „Akyanoblepsie".* Verhandl. d. physik. Ges. zu Berlin. 14. Dec.

3927. S. Kalischer. *Bemerkungen zu dem vorstehenden Vortrag von A. König.* Verhandl. d. physik. Ges. zu Berlin. 14. Dec.

1890.

3928. A. Schuster. *Goethe's „Farbenlehre".* Publications of the English Goethe Society. No. V. p. 141—151.

3929. Goethe's *Werke.* Herausgegeben im Auftrage der Grofsherzogin Sophie von Sachsen. II. Abth. Naturwiss. Schriften. Bd. 1 u. 2. Weimar, H. Böhlau.

3930. Goethe's *naturwissenschaftliche Schriften.* Bd. 3. Herausgegeben und mit Einleitung versehen von Rud. Steiner. (Deutsche National-Litteratur herausgegeben von J. Kürschner. Bd. 116. Stuttgart.)

1892.

3931. H. v. Helmholtz. *Goethe's Vorahnungen kommender naturwissenschaftlicher Ideen.* Deutsche Rundschau. Bd. 72. S. 115—132. — Auch sep. Berlin 1892, G. Pätel.

1893.

3932. Goethe's *Werke.* Herausgegeben im Auftrage der Grofsherzogin Sophie von Sachsen. II. Abth. Naturwissenschaftl. Schriften. Bd. 3 u. 4. Weimar, H. Böhlau.

3. Andere physikalische Farbentheorien.

1815.

3933. J. P. Brewer. *Versuch einer neuen Theorie der Lichtfarben.* Düsseldorf.

1816.

3934. Reade. *Experimental outlines for a new theory of colours, light and vision.* London.

1824.

3935. Hoppe. *Versuch einer ganz neuen Theorie der Entstehung sämmtlicher Farben.* Breslau.

1828.

3936. Röttger. *Erklärung des Lichts und der Dunkelheit.* Halle.

1830.

3937. Schäffer. *Versuch einer Beantwortung der von der Akademie zu Petersburg aufgegebenen Preisfrage über das Licht.* Bremen.

3938. W. Crumm. *An experimental inquiry into the number and properties of the primary colours, and the source of colours in the prism.* London.

1831.

3939. D. Brewster. *Description of a monochromatic lamp with remarks on the absorption of the Prismatic Rays.* Edinb. Trans. IX. (2.) S. 433.

3940. — *On a new Analysis of Solar Light.* Edinb. Trans. XII. (1.) S. 123. — Pogg. Ann. XXIII. S. 435.

1834.

3941. Exley. *Physical optics or the phenomena of optics.* London.

1847.

3942. G. B. Airy. Philos. Mag. XXX. (3.) S. 73. — Pogg. Ann. LXXI. S. 393.

3943. D. Brewster. *Reply.* Philos. Mag. XXX. S. 153.

3944. J. W. Draper. Silliman Journ. IV. S. 388. — Philos. Mag. XXX. S. 345.

3945. D. Brewster. Philos. Mag. XXX. S. 461.

3946. Melloni. Bibl. univ. de Genève. Août. — Philos. Mag. XXXII. S. 262. — Pogg. Ann. LXXV. S. 62.

3947. D. Brewster. Philos. Mag. XXXII. S. 489.

1852.

3948. H. Helmholtz. *Ueber Herr D. Brewster's neue Analyse des Sonnenlichts.* Pogg. Ann. LXXXVI. S. 501. — Philos. Mag. VI. (4.) — Berl. Monatsber. 15. Juli 1852. S. 458—461.

3949. F. Bernard. *Thèse sur l'absorption de la lumière par les milieux non crystallisés.* Ann. de Chim. (3.) XXXV. S. 385—438.

1855.

3950. D. Brewster. *On the triple spectrum.* Athen. S. 1156. — Inst. S. 381. — Rep. of Brit. Assoc. (2.) S. 7—9.

4. Nuancenunterschiede und Grenzen des Spectrums.

1845.

3951. E. Brücke. *Ueber das Verhalten der optischen Medien der Augen gegen Licht- und Wärmestrahlen.* Müllers Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 262. — Pogg. Ann. LXV. S. 593.

1846.

3952. E. Brücke. *Ueber das Verhalten der optischen Medien der Augen gegen Sonnenstrahlen.* Müllers Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 379. — Pogg. Ann. LXIX. S. 549.

1852.

3953. A. Cima. *Sul potere degli umori dell' occhio a trasmettere il calorico raggiante.* Torino.

1853.

3954. F. C. Donders. *Ueber das Verhalten der unsichtbaren Lichtstrahlen von hoher Brechbarkeit in den Medien des Auges.* Müllers Arch. S. 459. — Onderz. ged. in het physiol. Lab. d. Utrecht'sche Hoogeschool. VI. S. 1.

1854.

3955. F. C. Donders. *Over de verhouding der onzichtbare stralen van sterke breekbaarheid tot de vochten van het oog.* Ned. Lancet. S. 1.

3956. G. Kessler. Gräfes Arch. f. Ophthalm. I. Abth. 1. S. 466.

1855.

3957. H. Helmholtz. *Ueber die Empfindlichkeit der menschlichen Netzhaut für die brechbarsten Strahlen des Sonnenlichts.* Pogg. Ann. XCIV. S. 205. — Ann. de Chim. (3.) XLIV. S. 74. — Arch. d. sc. phys. XXIX. 211. S. 243.

1856.

3958. G. Wilson. *On the transmission of actinic rays of light through the eye and their relation to the yellow spot of the retina.* Proc. of Edinb. Soc. III. S. 371—375. Edinb. Journ, (2.) IV. S. 147—149.

1858.

3959. J. Regnauld. *Fluorescence des milieux de l'oeil.* Inst. S. 410.

1859.

3960. J. Setschenow. *Ueber die Fluorescenz der durchsichtigen Augenmedien.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 205—209.

1860.

3961. J. Regnauld. *Étude sur la fluorescence des milieux transparents de l'oeil.* Cosmos. XVI. S. 88—90. Journ. de Pharm. (3.) XXXVII. S. 104—111.

3962. J. Janssen. *Sur l'absorption de la chaleur rayonnante obscure dans les milieux de l'oeil.* Compt. Rend. LI. S. 128—131 u. 373—374. — Ann. de chim. (3.) XL. S. 71—93. — Journ. de pharm. (3.) XXXVIII. S. 189—192. — Cosmos. XVII. S. 139 bis 140. — Cimento. XII. S. 132—133.

3963. A. v. Gräfe. *Zur Beantwortung der Frage, warum die brechbarsten Strahlen des Sonnenlichtes die Empfindung des Leuchtenden nicht erregen.* Arch. f. Ophthalm. VI. (1.) S. 466.

1861.

3964. E. Chevreul. *Cercle chromatique.* Paris.

3965. Laurence. *Sensibility of the eye the color.* Philos. Mag. S. 220.

1862.

3966. R. Franz. *Ueber die Diathermansie der Medien des Auges.* Pogg. Ann. CXV. S. 266—279. Philos. Mag. (4.) XXIV. S. 176—185. Arch. de sc. phys. (2.) XVI. S. 140—141. Cimento. XVII. 27.

1866.

3967. J. B. Listing. *Ueber die Grenzen der Farben im Spectrum.* Amtl. Ber. d. XL. Naturf.-Vers. Hannover.

1867.

3968. J. B. Listing. *Ueber die Grenzen der Farben im Spectrum.* Pogg. Ann. Bd. 131. S. 564—577.

3969. E. Mandelstamm. *Beitrag zur Physiologie der Farben.* Arch. f. Ophthalm. XIII. (2.) S. 399.

1869.

3970. M. Mascart. *Sur la visibilité des rayons ultraviolets.* Compt. Rend. Bd. 68. S. 402—404.

1870.

3971. J. M. Matzdorff. *Ueber unsichtbares Licht.* Kreuznach.

1872.

3972. W. Dobrowolsky. *Ueber Empfindlichkeit des Auges gegen verschiedene Spectralfarben.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 66—74.

3973. — *Zur Kenntnifs über die Empfindlichkeit des Auges gegen die Farbentöne.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 98—103.

3974. Sekulic. *Ultraviolette Strahlen sind unmittelbar sichtbar.* Pogg. Ann. Bd. CXLVI. S. 157—158.

1874.

3975. C. Bohn. *Photometrische Untersuchungen (Helligkeit der Farben, Unterschiedsempfindlichkeit, Grenzen der Farbenempfindung u. A.).* Pogg. Ann. Erg.-Bd. VI. S. 386.

1875.

3976. A. Cornu. *Sur le spectre normal du Soleil, partie ultraviolette.* Ann. Scient. de l'Ec. norm. sup. Sér. 3. III. No. 12. S. 421—435. — Arch. des Sc. phys. et natur. de Genève. LIII. No. 209. S. 50—68.

3977. L. Sauer. *Experimente über die Sichtbarkeit ultravioletter Strahlen.* Pogg. Ann. Bd. 155. S. 602-615. — Progr. d. Realschule in Stettin.

1877.

3978. W. v. Bezold. *Ueber die Fluorescenz der Netzhaut.* Münch. Ber. math.-physik. Kl. 7. Juli.

3979. A. Chodin. *Ueber die Abhängigkeit der Farbenempfindungen von der Lichtstärke.* Preyers Samml. Physiol. Abh. I. Reihe. Heft 7. Jena. Dufft. S. 38—44.

1878.

3980. Klug. *Untersuchungen über die Diathermanie der Augenmedien.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Heft 3 u. 4.

1879.

3981. Soret. *Sur la transparence des milieux de l'oeil pour les rayons ultraviolets.* Compt. Rend. Bd. 88. No. 20. S. 1013—1015. Arch. génér. de méd. Juli.

1880.

3982. O. N. Rood. *Newtons use of the term Indigo with reference to colour of the spectrum.* Sill. Journ. (3.) XIX. S. 135—137.

1882.

3983. Th. W. Engelmann. *Prüfung der Diathermanität einiger Medien mittelst Bacterium photometricum.* Utrecht. Onderzoek. Derd. R. VII. S. 291. Pflüger's Arch. XXX. S. 125—128.

1883.

3984. de Chardonnet. *Pénétration des radiations actiniques dans l'oeil de l'homme et des animaux vertébrés et sur la vision des radiations ultraviolettes.* Séance de l'acad. des sc. Februar. XCVI. S. 441.

3985. — *Visions des radiations ultraviolettes.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 509—511.

3986. E. Mascart. *Remarque sur la communication de M. de Chardonnet (Vision des radiations ultraviolettes).* Compt. Rend. Bd. 96. S. 571.

3987. B. O. Peirce. *On the sensitiveness of the eye to slight differences of color.* Sill Journ. (3.) XXVI. S. 299.

3988. Soret. *Sur l'absorption des rayons ultra-violets par les milieux de l'oeil et par quelques autres substances.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 572—575. — Arch. des sc. phys. (3.) X. S. 183 u. 429.

3989. — *Sur la visibilité des rayons ultraviolettes.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 314—316.

1884.

3990. A. Gayet. *Sur le pouvoir absorbant du cristallin pour les rayons ultraviolettes.* Soc. franç. d'Ophthalm. S. 188. — Rec. d'Ophthalm. S. 169.

3991. A. König und C. Dieterici. *Ueber die Empfindlichkeit des normalen Auges für Wellenlängen-Unterschiede des Lichtes.* Wiedem. Ann. XXII. S. 579. — Gräfe,s Arch. XXX. (2.) S. 171—184. — Verhandl. d. physik. Ges. zu Berlin. 22. Februar u. 7. März.

3992. B. O. Peirce. *Empfindlichkeit des Auges für minimale Farbenunterschiede.* Americ. Journ. of Sc. XXVI. S. 299.

3993. C. S. Peirce und J. Jastrow. *On small differences of sensation.* Mem. of the Nat. Acad. of Sc.

3994. Zenger. *Sur la visibilité des rayons ultraviolets à l'aide du parallelépipède de dispersion.* Compt. Rend. Bd. 98. S. 1017.

1886.

3995. E. Brodhun. *Ueber die Empfindlichkeit des Auges für Wellenlängenunterschiede des Lichtes.* Verhandl. d. Physiol. Ges. zu Berlin. Jahrg. 1885/86. No. 17 u. 18.

3996. W. Dobrowolsky. *Ueber die Empfindlichkeit des normalen Auges gegen Farbentöne auf der Peripherie der Netzhaut.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXII. (1.) S. 9—32.

3997. Webster, Fox und G. W. Gould. *Retinal insensibility to ultra-violet and infra-red rays.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 345.

1889.

3998. W. Uhthoff. *Ueber die zur Erzeugung eben merklicher Farbendifferenzen erforderlichen Aenderungen der Wellenlänge spectralen Lichtes.* du Bois' Arch. S. 171.

3999. — *Ueber die Unterschiedsempfindlichkeit des normalen Auges gegen die Farbentöne im Spectrum.* Arch. f. Ophthalm. XXXIV. (4.) S. 1.

4000. J. Widmark. *Ueber den Einfluſs des Lichtes auf die vorderen Medien des Auges.* Skand. Arch. f. Physiol. I. S. 246.

1890.

4001. J. Widmark. *De l'influence de la lumière sur le cristallin.* Biolog. fören. förhdl. Stockholm. II. No. 8.

4002. — *Ueber die Einwirkung des ultravioletten Lichts aufs Auge.* Nord. ophthalm. Tidsskr. III. S. 61.

4003. — *Ueber die Durchdringlichkeit der Augenmedien für ultraviolette Strahlen.* Nord. ophthalm. Tidsskr. III. S. 121.

1891.

4004. J. Widmark. *Ueber die Durchlässigkeit der Augenmedien für ultraviolette Strahlen.* Skand. Arch. f. Physiol. III. S. 14—47. (Beitr. z. Ophthalm. Leipzig, Veit & Co.)

1892.

4005. E. Brodhun. *Ueber die Empfindlichkeit des grünblinden und des normalen Auges gegen Farbenänderung im Spectrum.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 97—117.

4006. G. J. Stoney. *On the appreciation of ultra-visible quantities and on a gauge, to help us to appreciate them.* Philos. Magaz. (5.) XXXIV. S. 415—429. — Scientif. Proc. of the R. Dublin Soc. VII. S. 530.

4007. J. Widmark. *Ueber den Einfluſs der ultravioletten Strahlen des Lichtes auf die vorderen Medien des Auges.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 17.

5. Farbenharmonie und Vergleich mit den Tonintervallen.

1704.

4008. I. Newton. *Optics.* Lib. I. Pars 2. Prop. 3.

1725 und 35.

4009. L. B. Castel. *Clavecin oculaire.* Journ. de Trevoux.

1737.

4010. de Mairan in Mém. de l'Acad. des Sc. S. 61.

1772.

4011. J. H. Lambert. *Farbenpyramide.* Augsburg. § 19.

4012. Hartley in Priestley's Geschichte der Optik. S. 549.

1802.

4013. Th. Young in Phil. Trans. S. 38.

1817.

4014. Field. *An essay on the analogy and harmony of colours.* London.

1852.

4015. Drobisch. Abhandl. d. sächs. Ges. d. Wiss. II. Sitzgs.-Ber. derselben. Nov. Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 519—526.

4016. Unger. *Untersuchungen über das Gesetz der Farbenharmonie.* Pogg. Ann. LXXXVII. S. 121—128. — Compt. Rend. XL. S. 239.

1853.

4017. Drobisch. *Ueber die Wellenlängen und Oscillationszahlen der farbigen Strahlen im Spectrum.* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 519—526.

1854.

4018. Unger. *Disque chromharmonique pour servir à expliquer les règles de l'harmonie des couleurs.* Göttingue.

1855.

4019. H. Helmholtz. *Zusatz zu einer Abhandlung von E. Esselbach: Ueber die Messung der Wellenlänge des ultravioletten Lichtes.* Sitzgs.-Ber. d. Acad. d. Wiss. zu Berlin. S. 760. — Inst. 1856. S. 222.

4020. J. J. Oppel. *Ueber das optische Analogon der musikalischen Tonarten.* Jahresber. d. Frankf. Vers. 1854—1855. S. 47—55.

4021. E. Chevreul. *Remarques sur les harmonies des couleurs.* Compt. Rend. XL. S. 239—242. Edinb. Journ. (2.) I. S. 166—168.

1858.

4022. Unger. *Die bildende Kunst, ästhetische Betrachtungen über Architectur, Sculptur und Malerei für Künstler und Kunstfreunde.* Göttingen.

1869.

4023. Ballu. *Aperçu sur un projet de musique optique.* Compt. Rend. Bd. 68. S. 878—879.

1870.

4024. W. Preyer. *Die Verwandtschaft der Töne und Farben.* Jen. Zeitschr. f. Med. u. Naturwiss. S. 376—388.

1873.

4025. J. Aitken. *On harmony of colour.* Trans. of the Roy. Scottish Soc. of Arts. IX.

1875.

4026. Th. W. Cave. *The revised theory of light. I. The principles of the harmony of colour.* London. Smith, Elder & Co.

1876.

4027. J. Plath. *Ueber die Versuche einer Farbenharmonielehre nach akustischen Principien.* Progr. d. Klosterschule Rofsleben.

1879.

4028. Schassler. *Harmonische Farbenverbindungen.* Westermann's Monatsh. No. 1.

4029. Sully. *Harmony of colours.* Mind. No. 14. April.

1885.

4030. A. Rosenstiehl. *Les lois de la vision et l'harmonie des couleurs.* La Nature. XIII. (1.) S. 263—266.

1891.

4031. Ch. Henry. *Harmonies de formes et de couleurs. Démonstrations pratiques avec le rapporteur esthétique et le cercle chromatique.* Paris. A. Hermann. 65 S.

Der Farbensinn bei Thieren und verschiedenen Völkerstämmen. — Die historische und individuelle Entwickelung des Farbensinnes.

1810.

032. Böttiger. *Die aldobrandinische Hochzeit.* Dresden. S. 128.

1836.

033. Wiegmann. *Die Malerei der Alten in ihrer Anwendung und Technik.* Hannover. S. 210.

1858.

034. W. E. Gladstone. *Studies on Homer and the Homeric age.* Vol. III. § 4. Oxford.

1861.

035. F. Dieterici. *Die Naturbeschreibung und Naturphilosophie der Araber im zehnten Jahrhundert.* S. 85.

1867.

036. L. Geiger. *Ueber den Farbensinn der Vorzeit und seine Entwickelung.* Tagebl. d. dtsch. Naturf. u. Aerzte. Anh. S. 51—57.

037. — *Ueber den Farbenssinn im Alterthum.*

1869.

038. P. Bert. *Sur la visibilité des divers rayons du spectre pour les animaux.* Mon. Scient. S. 827. — Compt. Rend. Bd. 69. S. 363.

1871.

039. L. Geiger. *Ueber den Farbensinn der Urzeit und seine Entwickelung.* Stuttgart.

40. — *Zur Entwickelungsgeschichte der Menschheit.* Cap. 3. Stuttgart.

1876.

41. W. Jordan. *Die Farben bei Homeros.* Jahrb. f. klass. Philolog. CXIII.

1877.

42. E. Javal. *De l'évolution dans le sens de la vue.* Gaz. hebdom. S. 463. — Gaz. d. Hôpit. S. 678.

43. W. E. Gladstone. *The colour sense.* Nineteenth Century, Oct.

44. H. Magnus. *Die geschichtl. Entwickelung des Farbensinnes.* Leipzig, Günther. 56 S. — Kosmos. Bd. 1.

45. — *Die Entwickelung des Farbensinnes.* Jena. 22 S.

46. H. Schmidt. *Ueber die allmähliche Entwickelung des sinnlichen Unterscheidungsvermögens der Menschheit.* Berlin. 29 S.

47. R. Smith. Nature. 6. Dec. 1877.

48. A. R. Wallace. *Colour in animals and plants.* Macmillan's Mag. Oct.

1878.

49. G. Allen. *The colour-sense its origin and development.* Mind. Jan. 1878.

50. Andrée. *Ueber den Farbensinn der Naturvölker.* Zeitschr. f. Ethnolog. Jahrg. X.

51. Blackie. *On Gladstone's theory of colour-sense in Homer.* Proc. Roy. Soc. Edinb. 1877—1878. S. 533.

52. F. Boll. *La evoluzione dei Colori.* La rassegna settimanale di politica, scienze, lettere ed arti. Vol. 2. No. 9.

53. H. Cohn. *Ueber Contrastfarbenempfindung und die Unwahrscheinlichkeit ihrer Entstehung in historischer Zeit.* Allg. med. Centralzeitg. S. 399.

54. Delitzsch. *Der Talmud und die Farben.* Nord u. Süd. XII. S. 254—267.

55. Dor. *De l'évolution historique du sens des couleurs.* Paris, Masson. 19 S.

56. — *Zur geschichtlichen Entwickelung des Farbensinnes.* Ber. üb. d. Vers. d. Heidelb. Ophthalm. Ges. S. 120—129. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Beil. z. Augusthft.

57. W. E. Gladstone. *Der Farbensinn mit besonderer Berücksichtigung der Farbenerkenntnifs des Homer.* Breslau, Kern. 47 S.

58. Günther. *Der Farbensinn des menschlichen Auges in seiner geschichtlichen Entwickelung.* Augsburger Allgem. Ztg. Beil. No. 62.

59. E. Häckel. *Ursprung und Entwickelung der Sinneswerkzeuge.* Kosmos. November.

60. S. Kalischer. *Zur Ausbildung der menschlichen Sinne.* Gegenwart. No. 38

61. E. Krause. *Die geschichtliche Entwickelung des Farbensinnes.* Kosmos. I. S. 264—275 u. S. 248.

62. Löw. *Ueber die Farbenbezeichnungen in den Indianersprachen.* Sitzgs.-Ber. d. Münch. Anthropol. Ges.

4063. H. Magnus. *Zur Entwicklung des Farbensinnes.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde XVI. S 465—477.
4064. — *Bemerkungen über Untersuchung und Erziehung des Farbensinnes.* Dtsch. med Wochenschr. No. 42.
4065. — *Histoire de l'évolution du sens des couleurs.* Paris, Reinwald & Co. 130 S.
4066. — *Entgegnung auf Herrn Krause's Aufsatz: Die geschichtliche Entwickelung de Farbensinnes.* Kosmos. I. S. 423—432.
4067. — *Ueber systematische Erziehung des Farbensinnes in den Schulen.* Compt. Rend Bd. 87. S. 132—137.
4068. Magnus u. Pechuël-Lösche. *Fragebogen zur Ausfüllung behufs Lösung des Problems Bis zu welchem Grade die Naturvölker die Farben empfinden und durch Benennun unterscheiden, wie die Culturvölker.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XVI. S. 375
4069. W. Pole. *Colour-blindness in relation to the homeric expressions for colour.* Nature Octbr. 24 u. 31.
4070. W. Zehender. *Nachschrift zu dem Aufsatz des Herrn Magnus: Zur Entwickelun des Farbensinnes.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XVI. S. 478—481.
4071. *Der Farbensinn des menschlichen Auges in seiner geschichtlichen Entwickelung.* Augsb. Allg. Ztg. No. 62. Beil.

1879.

4072. Grant Allen. *Colour-Sense in Insects, its development and reaction.* Proc. Roy Inst. Gr. Brit. S. 201.
4073. — *The Colour-Sense; its Origin and Development.* London, Trübner & Co.
4074. Almquist. *Studier öfver Tschuktschernas färgsinne.* Kongl. Vetenskaps. Akad. Förh. 9. Novbr. Deutsch: *Studien über den Farbensinn der Tschuktschen.* (Uebers v. Magnus.) Bresl. ärztl. Zeitschr. No. 14. 1880.
4075. — *Color-Sense of Natives at Mouth of Yenissi.* Nordenskiöld's Arcti Voyages. London. S. 376.
4076. Antonow. *Darwin'sche Hypothese der Evolution der Farbenempfindungen.* Aerzt Blätt. No. 396.
4077. H. Cohn. *Ueber quantitative Farbensinn-Bestimmungen bei Europäern und Nubiern* Allg. med. Centralztg. 30. Aug.
4078. — *Sehschärfe und Farbensinn der Nubier.* Centralbl. f. Augenheilkde. III S. 187—200.
4079. Delboeuf. *Les sens et les couleurs chez les animaux.* Rev. Sient. May 24.
4080. Dor. *The historical Evolution of the Sense of Colour.* Englisch v. Clarke. Edinl med. Journ. Bd. 293. Novbr.
4081. H. T. Finck. *Development of the color-sense.* Macmillan's Mag. 1879.
4082. Gatschet. *Adjectives of color in Indian languages.* The americ. Naturalist. Aug Zeitschr. f. Etholog. XI. Hft. 4 u. 5.
4083. J. Geoffroy. *De la connaissance des couleurs dans l'antiquité, examen de la théor. de Dr. Magnus.* Union méd. No. 82 u. 86.
4084. E. Haeckel. *Ursprung und Entwicklung der Sinnesorgane.* Ges. popul. Vort II. Hft. Bonn. 121 S.
4085. S. Kalischer. *Ueber methodische Erziehung der Sinnesorgane, im Besonderen d Farbensinnes.* Ausland. No. 36.
4086. — *Die Erziehung der menschlichen Sinne, insbesondere des Farbensinnes.* Gegenwar XVI. No. 32.
4087. A. Kirchhoff. *Ueber Farbensinn und Farbenbezeichnung der Nubier.* Zeitschr. f Ethnolog. XI. (6.) S. 397. — Mitth. d. Ver. f. Erdkde. zu Halle a/S. S. 53.
4088. L. Kotelmann. *Die Augen von 9 Lappländern, 3 Patagoniern, 13 Nubiern und 1 Neg vom weissen Nil.* Berl. klin. Wochenschr. No. 47.
4089. H. Magnus. *Die methodische Erziehung des Farbensinnes.* Breslau, Kern. 1 Farb Taf. u. 72 Farb.-Kärtch.
4090. — *Ueber methodische Erziehung der Sinnesorgane, insbesondere des Farbensinne* Ausland. No. 36.
4091. Marty. *Die Frage nach der geschichtlichen Entwickelung des Farbensinnes.* Wien, Gerol
4092. Murphy, Craig-Cristic, Brewin, Ingleby, Hardmann. *Shakespeare's Colo Names.* Nature. XIX. No. 479—483.
4093. Nachtigal. *Farbenbezeichnungen der Nubier.* Verh. d. Berl. Ges. f. Anthrop S. 452—455.

4094. H. Schöler. *Ueber die Stellung der Ophthalmologie zur Anthropologie.* Virchow's Arch. f. pathol. Anat. Bd. 78.
4095. Schröder. *Die Entwickelung des Farbensinnes am menschlichen Auge.* Berl. klin. Wochenschr. No. 36 u. 37.
4096. Stein. *Sehschärfe und Farbensinn der Nubier.* Frankf. Ztg. No. 213.
4097. v. Strauss u. Torney. *Bezeichnung der Farben Blau und Grün im chinesischen Alterthum.* Zeitschr. d. dtsch. morgenl. Ges. XXXIV. (3.) S. 502—508.
4098. R. Virchow. *Die Erziehung des Farbensinnes.* Ber. d. Berl. Ges. f. Anthropol. S. 8.
4099. — *Verzeichnifs der Farbenbezeichnungen in lappischer Sprache.* Verh. d. Berl. Ges. f. Anthropol. S. 148.
4100. — *Farbensinn der Lappländer.* Ber. d. Berl. Ges. f. Anthropol., Ethnolog. u. Urgesch. Sitzgs.-Ber. v. 15. März. S. 64.
4101. — *Farbensinn der Nubier.* Verh. d. Berl. Ges. f. Anthropol. S. 389.
4102. — *Die in Berlin anwesenden Nubier der Hagenbeck'schen Karawane.* Sitzgs.-Ber. d. Ges. f. Anthropol., Ethnol. u. Urgesch. S. 44.
4103. A. Wallace. Nature. XIX. S. 501.

1880.

4104. Gr. Allen. *Der Farbensinn, sein Ursprung und seine Entwickelung.* Deutsch und mit Einleitung von E. Krause. Leipzig.
4105. Almquist und Magnus. *Studien über den Farbensinn der Tschuktschen.* Breslauer ärztl. Zeitschr. No. 14.
4106. Andree. *Ueber den Farbensinn der Naturvölker.* Globus. XXXVIII. S. 10.
4107. J. Chatin. *Sur la valeur comparée des impressions monochromatiques chez les Invertébrés.* Compt. Rend. XC. 1. S. 41.
4108. — *Action des lumières colorées sur l'appareil optique des crustacées.* Gaz. de Paris. No. 28. S. 363.
4109. E. Dreher. *Ueber den Farbensinn der Griechen.* Dtsch. Lesehalle. No. 25.
4110. Espinas. *Le sens de la couleur, son origine et son développement.* Rev. philos. No. 2.
4111. Günther. *Der Farbensinn, sein Wesen und seine Entwicklung.* Diss. München.
4112. — *Ein Problem der physiologischen Physik in seinen Beziehungen zurEthnologie.* Kosmos. Heft 8. Nov.
4113. L. Hartmann. *Farbensinn bei den Naturvölkern.* Zeitschr. f. Ethnolog. XII. S. 183.
4114. F. Holmgren. *Beitrag zur Beleuchtung der Frage über die historische Entwickelung des Farbensinnes.* Upsala. Läkaref. Förh. XV. S. 222—259.
4115. A. Kirchhoff. *Noch einmal die Farbenbezeichnungen der Nubier.* Mitth. d. Ver. f. Erdkde. zu Halle a/S.
4116. H. Magnus. *Untersuchungen über den Farbensinn der Naturvölker mit einem chromolithographischen Fragebogen.* Jena. Preyer's Samml. physiol. Abh. II. (7.)
4117. Rabl-Rückhard. *Zur historischen Entwickelung des Farbensinnes.* Berl. anthropol. Ges. 22. Mai. — Zeitschr. f. Ethnolog. Hft. 4.
4118. A. v. Reuss. *Ueber die Wichtigkeit der Erziehung des Farbensinnes.* Wien. med. Presse. XXI. No. 26 u. 28.
4119. H. Schöler. *Ophthalmologische Untersuchungen an Nubiern und Negern.* Zeitschr. f. Ethnolog. XII. (1.) S. 59—68.
4120. J. N. Stack. *Color-sense of the Maori.* Nature. XXII. S. 494.
4121. Stinde. *Die angebliche Blaublindheit der Urvölker.* Gegenwart. No. 38.

1881.

4122. J. Chatin. *Contributions expérimentales à l'étude de la chromatopsie chez les Batraciens, les Crustacés et les Insectes.* Paris, Gauthier-Villars.
4123. A. Kirchhoff. *Zur Frage über den Farbensinn der Naturvölker.* Dtsch. Rev. März.
4124. Kroner. *Der Talmud und die Farben.* Augsb. Allg. Ztg. No. 256. Beil.
4125. P. v. Seydewitz. *On Color-Blindness and the development of the Color Sense.* New-Orleans. med. and surg. Journ. IV. (2). S. 81.

1882.

4126. Birgham. *Farbensinn und Farbenblindheit bei den Hawaiiern.* Ausland. No. 17.
4127. Coleuso. *On the perception of Colours by the ancient Maoris.* New Zealand. Inst. XIV. S. 49.
4128. Th. W. Engelmann. *Bacterium photometricum. Ein Beitrag zur vergleichenden Physiologie des Licht- und Farbensinnes.* Utrecht'sche Unters. Derde Recks. VII. S. 252. Pflüger's Arch. XXX. S. 95—124.

4129. Th. W. Engelmann. *Ueber Licht- und Farbenperception niederster Organismen.* Pflüger's Arch. Bd. 29. S. 387. Arch. Néerl. V. S. 417.
4130. — *Farbe und Assimilation.* Utrecht'sche Unters. Derde Reeks. VII. S. 209. Arch 1883. Néerl. (1.) S. 29.
4131. A. Flinker. *Ueber den Farbensinn der Thiere.* Wien. med. Wochenschr. No. 9
4132. L. W. Fox. *Examination of Indians at the Government School in Carlisle, fo acuteness of vision and color-blindness.* Philad. M. Times. XII. S. 386.
4133. A. Genzmer. *Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen des neugeborenen Menschen* Halle.
4134. J. Geoffroy. *De la connaissance et de la denomination des couleurs dans l'antiquité* Mém. de la Soc. d'anthropol. de Paris. (2.) II. (3.) S. 281.
4135. Keller. *Ueber den Farbensinn der Mollusken.* Wolf's Zeitschr. XXVI. S. 100—10
4136. Lorz. *Die Farbenbezeichnungen bei Homer mit Berücksichtigung der Frage übe Farbenblindheit.* Jahresber. d. Gymnas. in Arnaw.
4137. R. W. Lovett. *The development of senses.* Pop. Sc. Month. New-York. XXI. S. 3
4138. J. Lubbock. *On the sense of colour among some of the lower animals.* Natur XXV. S. 422.
4139. — *On the development of the color-sense.* Fortnightly Rev. London. XXXI. S. 518. - Littel's Liv. Age. May 13.
4140. C. Roberts. *Colour-blindness as a racial character.* Lancet. I. S. 124.
4141. J. Soury. *Développement du sens des couleurs chez l'enfant, le sauvage et le barbar* Républ. franç. 27. Juni.
4142. — *Nouvelles recherches sur le sens des couleurs dans la série animale.* Répub franç. No. 30.

1883.

4143. Grant Allen. *Naturstudien; Bilder zur Entwickelungslehre.* Uebersetzt vo E. Huth. Leipzig.
4144. V. Graber. *Fundamentalversuche über die Helligkeits- und Farbenempfindlichkeit auge loser und geblendeter Thiere.* Sitzgs.-Ber. d. k. Akad. d. Wiss. Bd. 87. (1.) S. 20
4145. A. Kirchhoff. *Die Farbenbezeichnung der Samojeden und Queensland - Australi nebst vergleichendem Hinblick auf diejenige der Nubier und Ainos.* Ausland. No. 2
4146. J. Lubbock. *On the sense of colour among some of the lower animals.* Journ. Lin Soc. Zool. XVI. S. 121. — Nature. XXVII. S. 618.
4147. H. Magnus. *Die Farbenempfindung des Kindes.* Dtsch. Rev. VIII. S. 124.
4148. — *Ueber ethnologische Untersuchungen des Farbensinnes.* Virchow u. Holtzendor Samml. wiss. Vortr. Hft. 420.
4149. Mougeolle. *La linguistique et le sens des couleurs.* Rev. Scient. II. S. 715.
4150. S. Ottolenghi. *Il senso cromatico negli Israelite.* Osservatore. Turin.

1884.

4151. C. C. Abbot. *Colour-sense in fishes.* Science. IV. S. 336—339.
4152. G. B. Bono. *L'evoluzione storica del senso cromatico.* Gaz. delle Cliniche. XX.
4153. V. Graber. *Grundlinien zur Erforschung des Helligkeits- und Farbensinnes d Thiere.* Leipzig.
4154. Hochegger. *Die geschichtliche Entwickelung des Farbensinnes.* Psychologische Stud Innsbruck. 134 S.
4155. A. Kirchhoff. *Die Farbenbezeichnungen der Singhalesen und Araukaner.* Auslan LVII. S. 256.
4156. L. Kotelmann. *Die Augen von 23 Singhalesen und 3 Hindus.* Berl. klin. Woche schr. S. 164 u. 395.
4157. — *Die Augen von 22 Kalmücken.* Zeitschr. f. Ethnolog.

1885.

4158. V. Graber. *Ueber die Helligkeits- und Farbenempfindlichkeit einiger Meerthie* Wien. Ber. Bd. 91. 1. Abth. S. 129—153.
4159. J. Hogg. *Homer colour-blind.* Journ. of scienc. London. (3.) VII. S. 313.
4160. F. Holmgren. *Ueber den Farbensinn fremder Völker; Zusammenstellung von 1 Karl Rudbergs Untersuchungen auf der Weltreise der Fregatte Vanadis.* Ups Läkaref. Förh. XXI. S. 83—96.
4161. A. de Keersmaecker. *Le Sens des Couleurs chez Homère.* London, Trübner.
4162. A. König. *Ueber den Gesichtssinn der Zulukaffern.* Verh. d. Berl. Physik. Ges. 1 S. 15—17.

1886.

163. A. Forel. *Les fourmis perçoivent-elles l'ultraviolet avec leurs yeux ou avec leur peau?* Compt. Rend. de la soc. helvét. des scienc. nat. S. 128.

164. H. de Varigny. *Le développment des sens, chez l'enfant, d'après M. Preyer.* Rev. Scientif. XXXVIII. S. 401.

1887.

165. A. Flinker. *Ueber den Farbensinn der Thiere.* Wien. med. Wochenschr. No. 9.

166. Handl. *Ueber den Farbensinn der Thiere und die Vertheilung der Energie im Spectrum.* Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. d. Wiss. XCIV. 2. Abth. S. 935.

1888.

167. Deneffe. *De la perfectibilité du sens chromatique dans l'espèce humaine.* Bull. de l'Acad. roy. de Méd. de Belg. (4.) II.

168. G. Pouchet. *La prétendue évolution du sens des couleurs.* Rev. Scient. S. 464.

1889.

169. G. Albertotti. *Osservazioni sopra dipinti per rilevare alterazioni nella funzione visiva degli artisti.* Modena.

170. L. J. Blake u. W. S. Franklin. *Colour-blindness a product of civilization.* Science. XIII. S. 170.

171. A. M. Fielde. *Color-sense and color-blindness among the Chinese.* Med. and. Surg. Rep. Philad. S. 651.

1890.

172. A. M. Fielde. *Colour-sense and colour-blindness among the Chinese.* China med. Miss. Journ. Shanghai. IV. S. 61.

173. H. K. Wolfe. *The color-vocabulary of children.* Univ. Studies Nebraska III.

174. *Colour-Sense among the Chinese.* China med. Miss. Journ. — New-York med. Journ. LII. No. 8. S. 214.

175. *Colour vision; defective in the mercantile marine.* Brit. med. Journ. No. 1560. S. 1215

1892.

176. H. Blümner. *Die Farbenbezeichnungen bei den römischen Dichtern.* Berl. Stud. f. klass. Philol. u. Archäol. Bd. 13. Hft. 3. Berlin, S. Calvary & Co. 231 S.

1894.

177. A. Angelucci. *La funzione visiva dei vecchi e i suoi effetti sull' impiego del colore in pittura.* Arch. di Ottalm. II. S. 3 u. 69.

178. Garbini. *Evolution du sens des couleurs dans l'enfance.* Arch. per l'antropol. e la etnolog. XXIV. (1.)

179. W. A. Nagel. *Beobachtungen über den Lichtsinn augenloser Muscheln.* Biol. Centralbl. XIV. S. 385.

180. — *Ein Beitrag zur Kenntnis des Lichtsinns augenloser Thiere.* Biol. Centralbl. XVI. S. 810—813.

---

§ 20.

Die zusammengesetzten Farben.

Es gehört hierhin auch ein Theil der Litteratur von § 19.

1. Aeltere Litteratur über normales Farbensehen und über Farbentheorien.

1519.

81. Leonardo da Vinci. *Trattato della pittura.* Paris. 1651.

1686.

82. R. Waller. *A catalogue of simple and mixte colours.* Philos. Trans.

1704.

83. J. Newton. *Optice.* Lib. I. P. II. Prop. IV—VI.

1735.

84. J. C. le Blond. *Il Colorito.* London.

1737.

4185. du Fay. Mém. de l'Acad. roy. de Paris.

1758.

4186. T. Mayer. In Göttinger gelehrte Anz. St. 147.

1772.

4187. J. H. Lambert. *Beschreibung einer Farbenpyramide.* Berlin.

1792.

4188. Wünsch. *Versuche und Beobachtungen über die Farben des Lichts.* Leipzig. - Gilbert's Ann. XXXIV. 10.

1807.

4189. Th. Young. *Lectures on natural philosophy.* London.

1808.

4190. M. Opoix. *Théorie des couleurs.* Paris.

1810.

4191. Runge und Steffens. *Farbenkugel oder Construction der Verhältnisse all Mischungen der Farben und Bedeutung der Farben in der Natur.* Hamburg.

1816.

4192. A. Schopenhauer. *Ueber das Sehen und die Farben.* Leipzig.

1826.

4193. Hiort. *De functione retinae.* Dissertatio. Christiania.

1829.

4194. J. Plateau. *Dissertation sur quelques propriétés des impressions produites par la lumiè sur l'organe de la vue.* Lüttich.

1830.

4195. A. Schopenhauer. *Ueber das Sehen und die Farben.* Lat. Uebersetz. in Radi. Scriptores ophthalm. min. Comment. XXI exponens theoriam colorum physiologica

4196. Crinum. *Properties of the primary colors etc.* London.

1836.

4197. Challis. *Theoretische Auslegung einiger Thatsachen, die Zusammensetzung d Farben des Spectrums betreffend.* Pogg. Ann. XXXVII. S. 528.

1838.

4198. A. W. Volkmann. J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 373.

1839.

4199. Lichtenberger. *Observationes quaedam de spectris objectorum extra fines vis distincti positorum.* Diss. Leipzig.

4200. Mile. *Ueber die Empfindung, welche entsteht, wenn verschiedenfarbige Lichtstrahl auf dieselben Stellen der Retina eines einzigen Auges fallen.* Müllers Arch. f. An u. Physiol. S. 64.

4201. D. R. Hay. *Nomenclature of colours.*

4202. Szokalski. *Essai sur les sensations des couleurs.* Ann. d'Ocul. II. S. 11. III. S.

1843.

4203. J. Müller. *Zusammensetzung des weifsen Lichts aus den verschiedenen Farb* Pogg. Ann. LVIII. S. 358 u. 518.

1847.

4204. H. W. Dove. *Ueber die Methoden, aus Complementärfarben Weifs darzustellen, und über Erscheinungen, welche polarisirtes Licht zeigt, dessen Polarisationsebene gedreht wi* Berliner Monatsber. 1846. S. 70. Philos. Mag. XXX. S. 465. Inst. No. 7 S. 176. Arch. d. sc. phys. et nat. V. S. 276.

4205. — *Ueber die Darstellung des Weiss aus Complementärfarben und über optischen Erscheinungen, welche in rotirenden Polarisationsapparaten sich zeig* Pogg. Ann. Bd. 71. S. 97.

4206. E. Chevreul. *Exposé d'un moyen de définir et nommer les couleurs d'après u méthode rationelle et expérimentale.* Quesneville rev. scient. XXIX. S. 382. Com Rend. XXXII. S. 693. Inst. No. 906. S. 155. Dingl. polyt. Journ. CXXI. S. 3 Athen. 1851. S. 272.

1848.

4207. E. Brücke. *Ueber das Wesen der braunen Farbe.* Pogg. Ann. LXXIV. S. 461. Phil Mag. XXXIII. S. 281. Inst. No. 785. S. 21.

4208. E. Harless. *Physiologische Beobachtung und Experiment.* Nürnberg. S. 45. (Ei Farbe durch die andere gesehen.)

209. Chr. Doppler. *Versuch einer systematischen Classification der Farben.* Prag. — Abh. d. böhm. Ges. V. S. 401.

1849.

210. J. D. Forbes. *Hints towards a classification of colours.* Philos. Mag. XXXIV. S. 161.

1851.

211. E. Brücke. *Untersuchungen über subjective Farben.* Denkschr. d. math.-naturw. Klasse d. Wien. Acad. III.

1852.

212. *H. Helmholtz. *Ueber die Theorie der zusammengesetzten Farben.* Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 461—482. Pogg. Ann. LXXXVII. S. 45—66. Philos. Mag. (4.) IV. S. 519—534. Cosmos. II. S. 112—120. Ann. de chim. (3.) XXXVI. S. 500—508. Fechner's Centralbl. 1853. S. 3—9.

213. Ziegler. *Traité de la couleur et de la lumière.*

1853.

214. L. Foucault. *Sur la récomposition des couleurs du spectre en teintes plates.* Cosmos. II. S. 232. Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 385—387.

215. *H. Grassmann. *Zur Theorie der Farbenmischung.* Pogg. Ann. LXXXIX. S. 69—84. Philos. Mag. (4.) VII. S. 254—264.

216. Holtzmann. *Apparat zur Darstellung von Farbenmischungen.* Tagebl. d. dtsch. Naturforscherversammlung.

217. J. Plateau's *Reclamation.* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 172—173. Cosmos. II. S. 241. Fechner. Centralbl. S. 365.

218. H. Helmholtz. *Ueber die Zusammensetzung der Spektralfarben.* Pogg. Ann. XCIV. S. 1—28. Athen. S. 1197—1198. Cosmos. III. S. 573—575. Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 5. Ann. de chim. (3.) XLIV. S. 70—74. Arch. d. sc. phys. XXIX. S. 242.

1854.

219. J. Grailich. *Beitrag zur Theorie der gemischten Farben.* Wien. Ber. XII. S. 783 bis 847. XIII. S. 201—284.

220. J. Czermak. *Physiologische Studien.* Wien. Ber. XII. S. 322. § 6 u. XVII. S. 565.

221. A. Schopenhauer. *Ueber das Sehen und die Farben.* 2. Aufl. Leipzig.

1855.

222. *J. C. Maxwell. *Experiments on colour, perceived by the eye, with remarks on colour blindness.* Edinb. Trans. XXI. S. 275—297. Edinb. Journ. (2.) I. S. 359—360. Proc. of Edinb. Soc. III. S. 299—301. Philos. Mag. (4.) XIV. S. 40.

223. G. Wilson. *Observations on Mr. Maxwell's paper.* Edinb. Journ. (2.) I. S. 361.

224. J. D. Forbes. *Observations on Mr. Maxwell's paper.* Edinb. Journ. (2.) I. S. 362.

225. T. v. Doesburgh. *Over kleurmenging en kleurmeting.* Utrecht.

226. — *De colorum mixtione et dimensione.* Inaug.-Diss. Utrecht.

1856.

227. H. Czolbe. *Vertheidigung des Euler'schen Begriffes der Farben.* Das Jahrhundert. No. 4. S. 86—96.

228. J. C. Maxwell. *On the theory of compound colours with reference to mixtures of blue and yellow light.* Athen. S. 1093. Edinb. Journ. (2.) IV. S. 335—337. Inst. S. 444. Rep. of British Assoc. 2. S. 12—13.

229. Challis. *On theory of the composition of colours on the hypothesis of undulations.* Philos. Mag. (4.) XII. S. 329—338 u. 521.

230. G. G. Stokes. *Remarks on Challis' paper.* Philos. Mag. (4.) XII. S. 421.

1857.

231. H. W. Dove. *Eine Methode, Interferenz- und Absorptionsfarben zu mischen.* Berl. Monatsber. 11. März. — Pogg. Ann. CII.

232. H. Czolbe. *Euler's Begriff der Farben als nothwendiger Hebel, die Schranke der Kant'schen Erkenntnifstheorie zu durchbrechen.* Das Jahrhundert. S. 387—392, 411—416, 437—440, 458—464.

2. Aeltere Litteratur über Farbenblindheit.

1684.

233. D. Tuberville. *Several remarkable cases in physick, relating chiefly to the eyes.* Philos. Trans. No. 164. S. 736—738. Aug. 4. 1684. — Lowthrop's Abridgement. Vol. III. part. 1. p. 40.

1777.

4234. Huddart. *Of a person which could not distinguish colours.* Philos. Trans. LXVII 1. S. 14.

1778.

4235. Whisson. *An account of a remarkable imperfection of sight.* Philos. Trans. London V. LXVIII. S. 611—614.

1779.

4236. *Sur quelques personnes qui ne peuvent distinguer les couleurs.* Observations sur la physique par Rozier et Mongez. Paris. Tome XIII. p. 86—88.

1785.

4237. Giros v. Gentilly. *Theorie der Farben.* Lichtenbergs Magazin. I. (2.) S. 57 (Unter dem Pseudonym G. Palmer englisch und französisch erschienen.)

1798.

4238. J. Dalton. *Extraordinary facts relating to the vision of colours.* Memoirs of Lit. and Phil. Soc. of Manchester. V. part. I. (read 31. Oct. 1794.) — Edinburgh Journ. of Sc. IX. p. 97. Neu abgedruckt in Edinburgh Journ. of Sc. V. S. 188. (1831.

1802.

4239. Kühne. *De chromatopseudopsi.* Berolini.

1810.

4240. J. W. Goethe. *Zur Farbenlehre.* 1. § 103.

1813.

4241. Parry. Med. Trans. Coll. Phys. Vol. IV. S. 56.

1815.

4242. J. T. Sachs. *Eine physiologisch-optische Beobachtung.* (Nach dem Tode des Verfassers veröffentlicht von Prof. Harles.) Meckels deutsch. Arch. f. d. Physiol. Bd. I. S. 188.

1816.

4243. W. Nicholl. *Account of a case of curious imperfection of vision.* Med. chirurg. Trans. VII. S. 477. — Meckels deutsch. Arch. f. d. Physiol. V. S. 260. 1819.

1817.

4244. J. W. Goethe. *Zur Naturwissenschaft und Morphologie.* 1. Heft. S. 297.

1818.

4245. Wardrop. *Essays on the morbid anatomy of the human eye.* II. S. 196. London — Meckel's deutsches Arch. f. Physiol. V. S. 262. 1819.

4246. W. Nicholl. *Account of a case of defective power to distinguish colours.* Med chir. Trans. IX. S. 359. — Meckels deutsch. Arch. f. d. Physiol. V. S. 264. 1819 — Ann. of Philos. N. S. III. S. 128. 1822.

1819.

4247. J. F. Gall und G. Spurzheim. *Anatomie et Physiologie du système nerveux.* IV S. 98. Paris.

1821.

4248. Helling. *Praktisches Handbuch der Augenkrankheiten.* Bd. I. Berlin.

1822.

4249. J. Butter. *Cases of deficiency in the power of perceiving colours.* Tr. Phrenol. Soc. Edinb. 1822—24. S. 209—222.

4250. — *Remarks on the insensibility of the eye to certain colours.* Edinb. philos. Journ. VI. S. 135—140.

4251. D. Brewster. *Remarks to the preceding paper of Mr. J. Butter.* Edinb. philos. Journ. VI. S. 140—141.

1823.

4252. Sommer. *Chromatopseudopsie.* Gräfe u. Walther's Journ. f. Chir. Bd. V.

1826.

4253. G. Harvey. *On an anormalous case of vision in regard to colours.* Edinb. Philos. Trans. X. S. 253.

1828.

4254. Purkinje. *Achromatopsie.* Berl. Encycl. Wört. d. med. Wiss. Bd. I. S. 259.

4255. J. Herschel. *Art. „Light"* in: Encyclop. metrop. S. 434. § 507.

1829.

4256. Colquhoun. *Unempfindlichkeit der Augen gegen bestimmte Farben.* Froriep' Notizen. XXIV. S. 305. (Aus Glasgow. Med. Journ.)

1832.

4257. D. Brewster. *Letters on natural magic.* London. (S. 44 der deutschen Uebersetzung.)

1833.

4258. J. Herschel. *Brief an Dalton vom 22. Mai 1833,* abgedr. in Henry: *Memoirs of the life and scientific researches of John Dalton.* London 1854.

1837.

4259. *A. Seebeck. *Ueber den bei manchen Personen vorkommenden Mangel an Farbensinn.* Pogg. Ann. XLII. S. 177—233.

1838.

4260. Cunier. *Achromatopsie héréditaire dequis cinq générations.* Ann. d'Ocul. I. S. 417 u. 488.

1839.

4261. E. Wartmann. *Daltonismus.* Häser's Repetitorium Bd. IV. S. 125.

1841.

4262. V. Szokalski. *Essai sur les sensations des couleurs dans l'état physiol. et pathol. de l'oeil.* Paris. — Ann. d'Ocul. III. S. 1.

1842.

4263. V. Szokalski. *Ueber die Empfindungen der Farben in physiologischer und pathologischer Hinsicht.* Giefsen.

1843.

264. Boys de Loury. *Aberration dans les sensations des couleurs.* Lancette franç. No. 151. — Bull. de Thérap. Vol. XXV. S. 459.

1844.

265. Trinchinetti. *Chromatopseudopsie.* Ann. Univ. de Méd. No. 1. Milano.

266. E. Wartmann. *Mémoire sur le daltonisme et la dyschromatopsie.* Mém. soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève X.

1845.

267. Herschel. *Light.* Encyc. Metrop. § 507. S. 434.

1846.

268. E. Wartmann. *Memoir on Color Blindness.* Taylor's Scientific Memoirs 1846.

269. — *Daltonisme.* Arch. gén. de Méd. févr. — Arch. d'anat. S. 56.

1848.

270. Decondé. *Daltonisme dichromatique.* Ann. d'Ocul. XX.

271. d'Hombres-Firmas. Compt. Rend. XXIX. S. 175. XXX. 60. S. 376. Inst. No. 815. S. 259.

1849.

272. E. Wartmann. *Sur un phénomène de dyschromatopsie.* Bull. de Brux. XVI. 1. S. 137. — Inst. XVII. No. 799. S. 131.

273. — *Nouvelle mémoire sur le daltonisme.* Mém. soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève. XII.

1850.

274. Helfft. *Ueber Achromatopsie etc.* Med. Zeit. d. Ver. f. Heilkde. in Preufsen. XIV. S. 97—99.

275. d'Hombres-Firmas. *Observations d'achromatopsie.* Ann. d'Ocul. XXIII. S. 42 u. 127.

1851.

276. E. Cornaz. *De l'hyperchromatopsie.* Bruxelles. — Ann. d'Ocul. T. XXV. S. 3.

1852.

277. Schnetzler. Arch. d. sc. phys. XXI. S. 251—252.

278. F. Burckhardt. *Beobachtungen an einem Daltonisten.* Verh. der naturf. Ges. in Basel. X. S. 90—93.

1853.

279. Eichmann. *Achromatopsie.* Med. Zeit. d. Ver. f. Heilkde. in Preufsen. No. 47. S. 224.

280. G. Wilson. Monthly Journ. of med. sc. Nov. 1853 bis Dec. 1854. Edinb. Journ. (2.) IV. S. 322—327.

281. C. F. Schönbein. *Ueber Farbenveränderungen.* Wien.

1854.

282. Potton. *Recherches sur le daltonisme.* Gaz. de Lyon March 1854. — Arch. d'Ophthalm. I. S. 158. II. S. 137. — Arch. génér. de Med. S. 617. — Union méd. S. 174.

4283. G. Wilson. Proc. of Edinb. Soc. III. S. 226—227.
4284. Eichmann. Fechner's Centralbl. S. 294—295.

1855.

4285. Lembert. *Cas de pseudochromie.* Gaz. hebd. No. 16.
4286. Wilson. *Researches on Colour-Blindness.* Edinburgh.
4287. J. Cl. Maxwell. *On the Theory of Colours in relation to Colour-Blindness.* In Wilson: *Researches on Colour-Blindness.* Edinburgh. S. 153.

1856.

4288. Bronner. *On Daltonism.* Med. Times and Gaz. April 12.
4289. W. Pole. Proc. of Roy. Soc. VIII. S. 172—177. Philos. Mag. (4.) XIII. S. 282—286
4290. J. Tyndall. *On a peculiar case of colour blindness.* Philos. Mag. (4.) XI S. 329—333. — Silliman's Journ. (2.) XXII. S. 143—146. — Arch. d. sc. phys. XXXIII. S. 221—225.

3. Neuere Litteratur über normales Farbensehen und über Farbenblindheit.

a) Zusammenfassende Darstellungen der Farbenlehre.

1866.

4291. E. Brücke. *Die Physiologie der Farben für die Zwecke der Kunstgewerbe.* Leipzig.

1869.

4292. A. Nagel. *Der Farbensinn.* Berlin.

1871.

4293. W. Benson. *Manual of the Science of Color.* London.

1874.

4294. W. v. Bezold. *Die Farbenlehre in Hinblick auf Kunst und Kunstgewerbe.* Braunschweig. 296 S.
4295. Guillemin. *La lumière et les couleurs.* Paris, Hachette. 302 S.
4296. E. Hering. *Zur Lehre vom Lichtsinn. V. Grundzüge einer Theorie des Lichtsinnes.* Wien. Ber. (3.) LXIX. S. 179—217.
4297. — *Zur Lehre vom Lichtsinn. VI. Grundzüge einer Theorie des Farbensinnes.* Wien. Ber. (3.) LXX. S. 169—204.

1876.

4298. A. Classen. *Zur Physiologie des Gesichtssinnes.* Jena.

1877.

4299. L. Happe. *Ueber den physiologischen Entwickelungsgang der Lehre von den Farben.* Leipzig, Veit & Co. 44 S.
4300. Fr. Holmgren. *Om färgblindheten i dess förhållande till jernvägstrafiken och sjöväsendet.* Upsala Läkaref. Förh. XII. S. 171—251, 276—358. Auch als Brochüre.

1878.

4301. A. Classen. *Entwurf einer Psychologie der Licht- und Farbenempfindung.* Preyer's Samml. physiol. Abh. II. Reihe. 2. Heft. Jena, Fischer.
4302. E. Hering. *Zur Lehre vom Lichtsinn.* 6 Mittheilungen an die kais. Akad. d. Wiss. in Wien. Gerold's Sohn, Wien. 141 S.

1879.

4303. J. Eichler. *Farbenlehre für Schule und Haus.* Wien, Sallmayer. 110 S.
4304. L. Mauthner. *Functionsprüfungen des Auges.* (Heft 3, 4 u. 5 der Vorträge aus dem Gesammtgebiet der Augenheilkunde.) Wiesbaden, Bergmann.
4305. O. N. Rood. *Modern Chromatics, with applications to Art and Industry.* New-York, Appleton & Co. 329 S.
4306. Rosenthal. *Die Farbenlehre und ihre Beziehungen zum Kunstgewerbe.* Deutsche Revue. Dec. 1879. — Rev. Scien. IX. (2.) No. 14. S. 316.
4307. A. v. Wouvermans. *Farbenlehre.* Wien, Hartleben. 160 S.

1880.

4308. O. N. Rood. *Die moderne Farbenlehre mit Hinweisung auf ihre Benutzungen in Malerei und Kunstgewerbe.* Intern. Bibl. XLI. Leipzig. 350 S.

1881.

4309. H. Magnus. *Farben und Schöpfung.* Breslau, Kern. 270 S.

4310. O. N. Rood. *Students' text book of colour.* New-York.

4311. — *Théorie scientifique des couleurs et leurs applications à l'art et à l'industrie.* Paris, Germer-Baillière.

4312. Volkelt. *Die Farben und die Seele.* Zeitschr. f. Philos. u. philos. Kritik. Bd. 79. Heft 1.

1882.

4313. Häuselmann. *Populäre Farbenlehre.* Zürich.

4314. J. v. Kries. *Die Gesichtsempfindungen und ihre Analyse.* Leipzig. Zugleich Supplementheft zu Du Bois' Arch.

4315. Soury. *Le sens des couleurs.* Philosophie naturelle. Paris, chap. VI.

1883.

4316. Th. Petruscheffsky. *Licht und Farbe an und für sich und in ihrem Verhältniſs zur Malerei.* St. Petersburg. Selbstverlag. 103 S.

4317. M. Schasler. *Die Farbenwelt.* Berlin, Samml. gemeinverst. wiss. Vortr. von Virchow u. v. Holtzendorff. Heft 409, 410 u. 415.

1887.

4318. E. Brücke. *Die Physiologie der Farben für die Zwecke der Kunstgewerbe.* 2. Aufl. Leipzig, S. Hirzel. 309 S.

1891.

4319. A. v. Wouvermans. *Farbenlehre. Für die practische Anwendung in den verschiedenen Gewerben und in der Kunstindustrie bearbeitet.* 2. Aufl. Wien, Pest und Leipzig, A. Hartleben. 196 S.

1892.

4320. E. Hunt. *Colour Vision.* Glasgow, John Smith & Son. 3 plates and 122 pages.

1893.

4321. Guaita. *Die Wissenschaft der Farben und die Malerei.* (Italienisch.) Mailand.

1894.

4322. L. Mauthner. *Farbenlehre.* 2. Aufl. Wiesbaden, J. F. Bergmann. 168 S.

b) Specielles über normales und anomales Farbensehen.

Soweit es nach den Titelangaben möglich war, sind die Abhandlungen, welche die folgenden Abschnitte c), d), e), f), g) und h) betreffen hier fortgelassen und dort aufgeführt. Es unterliegt aber keinem Zweifel, daſs hier unter b) noch manches eigentlich dorthin Gehörige enthalten ist. Eine groſse Anzahl von Abhandlungen betrifft gleichzeitig mehrere jener Specialgebiete.

1857.

4323. Lembert. *Pseudochromie.* Ann. d'Ocul. XXXVIII. S. 275.

1858.

4324. A. v. Baumgartner. *Ein Fall ungleichzeitiger Wiederkehr für verschiedene Farben.* Wien. Ber. XXIX. S. 257—258.

4325. Clemens. *Farbenblindheit während der Schwangerschaft, nebst einigen zeitgemäſsen Erörterungen über Farbenblindheit und deren Ursache.* Arch. f. physiol. Heilkde. (n. F.) II. S. 41—59.

1859.

4326. H. Helmholtz. *Ueber Farbenblindheit.* Verhandl. d. naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg. 11. Nov. 1859. Bd. II. S. 1—3.

4327. J. F. W. Herschel. *Remarks on colour blindness.* Proc. of Roy. Soc. X. S. 72—84. Philos. Mag. (4.) XIX. S. 148—158.

4328. W. Pole. *On colour blindness.* Philos. Transact. CXLIX. S. 323—339. — Ann. de chim. (3.) LXIII. S. 243—256.

4329. C. Manby. *On colour blindness.* London.

4330. J. Smith. *On the cause of colour and the theory of light.* Rep. of Brit. Assoc. (2.) S. 22—23. Proc. of Manchester Philos. Soc. 1859—1860. S. 147—149. — Athen. (2.) S. 434.

1860.

4331. Clemens. *Daltonisme non-congénital.* Gaz. des Hôp. S. 180. — Ann. d'Oculist. XLIII. S. 185.

4332. J. J. Oppel. *Einige Beobachtungen und Versuche über partielle Farbenblindheit.* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1859—1860. S. 70—114.

4333. Gladstone. *On his own perception of colour.* Athen. II. S. 24. — Rep. of Brit. Assoc. (2.) S. 12—13.
4334. J. Cl. Maxwell. *On the theory of compound colours and the relations of the colours in the spectrum.* Proc. Roy. Soc. X. S. 404—409 u. 484—486. Philos. Transact. CL. S. 57—84. Philos. Mag. (4.) XXI. S. 141—146. Cimento. XII. S. 33—37. Rep. of Brit. Assoc. (2.) S. 16.

1861.

4335. J. J. Oppel. *Nachträgliche Bemerkungen zu dem vorjährigen Aufsatze über Farbenblindheit.* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1860—1861. S. 42—47.
4336. J. Z. Laurence. *Some observations on the sensibility of the eye to colour.* Philos. Mag. (4.) XXII. S. 220—226.
4337. E. Rose. *Ueber stehende Farbentäuschungen.* Arch. f. Ophthalm. VII. (2.) S. 72 bis 108.

1862.

4338. J. Brische. *Phénomène d'Acromatopsie ou Daltonisme monochromatique.* Ann. Soc. méd. Chir. de Liège I, S. 87.
4339. Fronmüller. *Mangelhafter Farbensinn.* Memorab. VI. S. 7.
4340. J. J. Oppel. *Zur Veranschaulichung der Achromatopsie für nicht damit Behaftete.* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1861—1862. S. 48—55.

1863.

4341. R. Schelske. *Ueber Farbenempfindungen.* Arch. f. Ophthalm. XI. 3. S. 39—62.
4342. M. Bakowa. *Ein Verfahren, künstliche Farbenblindheit hervorzubringen.* Zeitschr. f. rat. Med. III. Reihe. XVII. S. 245.

1864.

4343. H. Aubert. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau. S. 154—186.
4344. M. Benedict. *Der Daltonismus bei Sehnerven-Atrophie.* Arch. f. Ophthalm. X. (2.) S. 185.
4345. E. Rose. *Die Gesichtstäuschungen im Icterus. (Nebst einem Anhang über den Farbensinn bei der Nachtblindheit und die Wirkung der Pikrinsäure auf das Auge.)* Virchow's Arch. XXX. S. 442.
4346. v. Wittich. *Ueber die geringsten Ausdehnungen, welche man farbigen Objecten geben kann, um sie noch in ihrer specifischen Farbe wahrzunehmen.* Königsb. med. Jahrbücher. IV. S. 23.

1865.

4347. Chisolm. *Color-Blindness from Neuritis.* Ophth. Hosp. Rep. Vol. VI. S. 214.
4348. E. Mach. *Bemerkungen über intermittirende Lichtreize.* Reichert u. du Bois' Arch. Jahrg. 1865. S. 629—635.
4349. R. Schelske. *Ueber Rothblindheit in Folge pathologischen Processes.* Arch. f. Ophthalm. XI. (1.) S. 171—178.
4350. C. Bohn. *Ueber das Farbensehen und die Theorie der Mischfarben.* Pogg. Ann. CXXV. S. 87—118. (Versuch einer Theorie, ähnlich der von Grailich.)
4351. F. Burckhardt. *Notiz, betreffend mangelnden Farbensinn.* Pogg. Ann. CXXIV. S. 343.
4352. E. Rose. *Die Farbenkrankheiten im Abrifs.* Pogg. Ann. CXXVI. S. 68—87.
4353. R. Schelske. *Zur Farbenempfindung.* Arch. f. Ophthalm. XI. (1.) S. 171—178.

1866.

4354. E. Goubert. *De la perceptivité normale et surtout anormale de l'oeil pour les couleurs spécialement de l'achromatopsie ou cécité des couleurs.* Thèse. Paris.
4355. M. Schultze. *Ueber den gelben Fleck der Retina, seinen Einflufs auf normales Sehen und auf Farbenblindheit.* Bonn.

1867.

4356. C. S. Cornelius. *Ueber Young's Farbentheorie.* Zeitschr. f. Naturkde. XXXVIII. S. 520.
4357. H. Dor. *Observations au sujet des travaux de M. Schultze sur la tache jaune de la rétine, son influence sur la vision normale et sur le Daltonisme.* Arch. sc. phys. (2.) XXVIII. S. 155—165.
4358. — *Sur le Daltonisme.* Arch. de la Bibl. univ.
4359. H. W. Dove. *Optische Notizen. I. Vereinigung prismatischer Farben zu Weifs. II. Ueber subjective Farben durch electrische Beleuchtung.* Pogg. Ann. CXXXI. S. 651—655.
4360. Galezowski. *Sur l'achromatopsie pathologique.* Compt. rend. du Congrès ophthalm. Paris.

4361. V. Hensen. *Ueber das Sehen in der Fovea centralis.* Virchow's Arch. XXXIX. S. 475.

4362. J. Nicklès. *Physiological effects of the monochromatic flame.* Silliman's Journ. (2.) XLIII. S. 93—94.

1868.

4363. Galezowski. *Du diagnostic des maladies des yeux par la chromatoscopie rétinienne, précédé d'une étude sur les lois physiques et physiologiques des couleurs.* Paris.

4364. Niemetscheck. *Ueber Farbenblindheit.* Prag. Vierteljahrsschr. 25. Jahrg. IV. S. 224—238.

4365. Zöllner. *Ueber Farbenbestimmung der Gestirne.* Pogg. Ann. Bd. 135. S. 59.

1869.

4366. W. Benson. *Contrast and admixture of colours.* Scient. Am. XX. S. 257—258.

4367. Chisolm. *Colour blindness resulting from neuritis.* Ophthalm. Hosp. Rep. April.

4368. Th. Leber. *Ueber das Vorkommen von Anomalien des Farbensinnes bei Krankheiten des Auges.* Arch. f. Ophthalm. XV (3.) S. 26—107.

4369. J. J. Müller. *Zur Theorie der Farben.* Arch. f. Ophthalm. XV. (2.) S. 208 bis 258. — Pogg. Ann. Bd. 139. S. 411—431, 593—613.

4370. W. Preyer. *Ueber anomale Farbenempfindungen und die physiologischen Grundfarben.* Pflüger's Arch. I. S. 299—329.

1870.

4371. J. Czermak. *Ueber Schopenhauer's Theorie der Farbe.* Wien. Akad. Ber. LXII. S. 393—411.

4372. Galezowski. *Etude sur la chromatoscopie rétinienne ou examen de la vue au moyen de l'échelle de couleurs.* Compt. Rend. LXX. S. 1162.

4373. Th. Leber. *Ueber Farbenblindheit bei Erkrankung des Auges.* Berl. med. Ges. — Berl. klin. Wochenschr. S. 8.

4374. A. Schopenhauer. *Ueber das Sehen und die Farben.* 3. Aufl. Herausgegeb. von Frauenstädt, Leipzig.

4375. J. W. Strutt. *Some experiments on colour.* Rep. Brit. Assoc. XL. Liverpool. 43. — Nature. III. S. 234—236. (1871.)

4376. Vierordt. *Die Messung der Lichtabsorption durchsichtiger Medien mittelst des Spectralapparats.* Pogg. Ann. CXL. S. 172.

4377. M Woinow. *Zur Farbenempfindung.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 212.

4378. — *Zur Frage über die Intensität der Farben.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 251.

1871.

4379. J. Aitken. *Is blue a primary colour?* Nature. IV. S. 465.

4380. A. Bachmeister. *Farben und Farbensinn.* Ausland. S. 847—851.

4381. F. C. Donders. *Angeborener absoluter Defect des Farbensinnes.* Zehender's Klin. Monatsbl. IX. S. 470—471.

4382. Galezowski. *Quelques considérations sur la cécité par cause pathologique pour les couleurs.* Ann. d'Oculist. LXV. S. 221—243.

4383. F. Holmgren. *Ueber Farbenblindheit und die Young-Helmholtz'sche Farbentheorie.* Upsala Läkeref. Förh. VI. S. 634—687.

4384. J. Cl. Maxwell. *On colour vision.* Nature. IV. S. 13—16.

4385. J. T. Mott. *The primary colours.* Nature. III. S. 246 u. 307.

4386. J. J. Murphy. *The sensation of colour.* Nature. IV. S. 27.

4387. J. J. Oppel. *Ueber chromatische Täuschungen, den relativen Werth der Farbenbezeichnungen und das Zustandekommen unserer Farbenwahrnehmung überhaupt.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1869/70. S. 96—105.

4388. J. W. Strutt. *Colour.* Nature. IV. S. 142.

4389. M. Woinow. *Zur Diagnose der Farbenblindheit.* Graefe's Arch. XVII. (2.) S. 241—248

1872.

4390. J. Aitken. *On colour and colour sensation.* Proc. of the Roy. Scottish Soc. of Arts. 1871—1872.

4391. G. Briesewitz. *Ueber das Farbensehen bei normalem und atrophischem Nervus opticus.* Inaug.-Diss. Greifswald.

4392. E. Chevreul. *Réponse aux allégations contenues dans un rapport de M. A. Gruyer sur l'Exposition internationale de Londres à propos des tapisseries des Gobelins.* Compt. Rend. LXXV. S. 902 u. 993.

4393. Dor. *Ueber Farbenblindheit. Einwendung gegen die Young-Helmholtz'sche Theorie.* Sitzgs.-Ber. d. Bern. naturf. Ges. No. 792—811. S. 7—23.
4394. E. Emmert. *Ueber die Farben und ihre Beziehungen zum menschlichen Auge.* Bern.
4395. Havrez. *Formules pour les lois de teinture. Numéros des nuances chevreuliennes liés aux doses d'agents générateurs.* Compt. Rend. LXXV. S. 1103. — Mond. (2.) XXIX. S. 466.
4396. Jeaffreson. *Colour blindness in disease of brain and optical nerves.* Lancet. I. S. 601—670.
4397. R. Liebreich. *Turner and Mulready. — On the Effect of certain Faults of Vision on Painting, with especial Reference to their Works.* Roy. Inst. March 8. Nature. V. S. 404.
4398. — *Die Fehler des Auges bei Malern.* Der Naturforscher. No. 47.
4399. J. Cl. Maxwell. *Sur la vision des couleurs.* Mond. (2.) XXVII. S. 293—300 u. 439—446.
4400. W. Preyer. *Notiz über die violettempfindenden Nerven.* Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 113.
4401. W. M. Williams. *Turner's Vision.* Nature. V. S. 500.

1873.

4402. Annuske. *Farbenstörung als erstes Symptom von Sehnervenleiden.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XIX. (3.) S. 254.
4403. W. v. Bezold. *Ueber das Gesetz der Farbenmischung und die physiologischen Grundfarben.* Pogg. Ann. CL. S. 71 u. 221.
4404. A. Fick. *Zur Theorie der Farbenblindheit.* Verhandl. d. Physik.-Med. zu Würzburg. N. F. V. S. 129.
4405. Hochecker. *Ueber angeborene Farbenblindheit.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (3.) S. 1.
4406. Th. Leber. *Ueber die Theorie der Farbenblindheit und über die Art und Weise, wie gewisse, der Untersuchung von Farbenblinden entnommene Einwände gegen die Young-Helmholtz'sche Theorie sich mit derselben vereinigen lassen.* Sitzgs.-Ber. d. Ophthalm. Ges. in Klin. Monatsbl. S. 467—473.
4407. R. Liebreich. *Farbenblindheit.* Ausland. S. 179.
4408. M. Ponton. *Colours and their relations.* Quart. Journ. of sc. S. 74—103.
4409. E. Raehlmann. *Beiträge zur Lehre vom Daltonismus und seiner Bedeutung für die Young'sche Farbentheorie.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (3.) S. 88—106.
4410. R. Schirmer. *Ueber erworbene und angeborene Anomalien des Farbensinnes.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (2.) S. 194—235. — Berlin. Klin Wochenschr. No. 5.
4411. W. Schön. *Ueber die Grenzen der Farbenempfindung in pathologischen Fällen.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 171.
4412. F. J. Smith. *Mechanical Combination of Colours.* Nature. VIII. S. 262.
4413. Talma. *Over licht en kleurperceptie.* Bijbl. 14de Versl. Nederl. Gasth. for ooglijders. S. 129. — Inaug.-Diss.

1874.

4414. A. Favre. *Recherches cliniques sur le Daltonisme et de son traitement.* Lyon méd. No. 22.
4415. Guillemin. *La lumière et les couleurs.* Paris, Hachette. 302 S.
4416. Fr. Holmgren. *Theorie der Farbenblindheit, kritische Uebersicht mit Angabe des eigenen Standpunktes.* Upsala Läkaref. Förh. IX. S. 119—163, 187—202.
4417. — *Ueber Diagnostik und Theorie der angeborenen Farbenblindheit.* Nord. Med. Arch. VI. No. 24 u. 28.
4418. E. Hering. *Zur Lehre vom Lichtsinn. VI. Ueber die sogenannte Intensität der Lichtempfindung und über die Empfindung des Schwarzen.* Wien. Ber. (3.) LXIX. S. 85—106.
4419. Liczey. *Daltonisme congénital.* Journ. méd. de Bruxelles. S. 327.
4420. Reich. *Farbenempfindung.* Klin. Monatsbl.
4421. H. Schöler. *Bestimmung einer der drei Grundfarben des gesunden Auges.* Arch. f. Ophthalm. XX. (2.) S. 87.
4422. Schön. *Zur Farbenempfindung.* Berl. klin. Wochenschr. No. 20.
4423. M. A. Spottiswoode. *On combinations of colour by means of polarized light.* Proc. of the Roy. Soc. of London. XXII. S. 354—358.
4424. M. Woinow. *Zur Farbenempfindung.* (Russisch.) Med. Rundsch. Moskau. I. u. II. Heft, u. Moskauer med. Bote. S. 292.
4425. — *Die farbenempfindenden Elemente der Netzhaut.* Moskauer med. Rundsch. I. 2.

1875.

4426. S. Exner. *Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Processe. VI. Abh. Die Empfindungszonen des Sehnervenapparates.* Pflüger's Arch. XI. S. 581—602.

4427. A. Favre. *De la dyschromatopsie traumatique.* Lyon.

4428. — *Sur le traitement du Daltonisme.* Rev. Scientif. XIV. S. 237.

4429. E. Landolt. *Procédé pour déterminer la perception des couleurs.* Ann. d'Oculist. LXXIV. S. 74—75.

4430. H. Magnus. *Die Bedeutung des farbigen Lichtes für das gesunde und kranke Auge.* Leipzig.

4431. Mol. *Onderzoek op Kleurblindheid.* Nederl. Tijds. v. Geneesk. No. 7. S. 89.

4432. Pouchet. *Chromatische Function.* Ausland. S. 103.

4433. E. Raehlmann. *Ueber den Farbensinn bei Sehnervenerkrankungen.* Arch. f. Ophthalm. XXI. (2.) S. 27.

4434. H. Riccò. *Ueber Farbenwahrnehmung.* Atti della R. Acad. di Scienza di Modena.

4435. J. Stilling. *Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen.* Stuttgart. Zwei aufserordentl. Beilageh. z. d. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XIII. Jahrg.

4436. Treitel. *Ueber das Verhalten der peripheren und centralen Farbenperception bei atrophia nervi optici.* Inaug.-Diss. Königsberg.

4437. K. Vierordt. *Physiologische Spectralanalysen.* Zeitschr. f. Biol. X. 4. S. 399. XI. S. 187.

4438. Warlomont. *De la chromatopseudopsie.* Ann. d'Oculist. LXXIV. (11. Serie. IV.) S. 5—55.

4439. A. Weber. *Prüfung von Farbenblindheit.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XIII. S. 486—488.

4440. M. Woinow. *Beiträge zur Farbenlehre.* Arch. f. Ophthalm. XXI. 1. S. 223—250.

1876.

4441. S. Bert. *De la couleur verte.* Gaz. des Hôpit. S. 1174.

4442. T. Bertier. *Du Daltonisme et de la dyschromatopsie acquise.* Paris.

4443. W. v. Bezold. *Eine neue Methode der Farbenmischung.* Sitzgs.-Ber. d. Münch. Akad. 4. März.

4444. — *Ueber die Vergleichung von Pigmentfarben mit Spectralfarben.* Pogg. Ann. CLVIII. 1. S. 165—169.

4445. Lavand de l'Estrade. Procédé simple de recomposition des couleurs du spectre solaire au moyen d'un miroir tournant. Rev. Scient. S. 523. — Les Mondes. XLII. S. 579.

4446. J. Loudon. *Recomposition of the component colours of white light.* Philos. Mag. (5.) I. S. 170.

4447. Nuel. *E. Hering. Du sens de lumière. Revue critique.* Ann. d'Oculist. LXXVI. S. 54—69.

4448. J. J. Oppel. *Zwei Farbentafeln zur Illustration der Farbenblindheit mit dazu gehörendem grünlichen Glas.* Cataloge of the Spec. Loan Coll. of Scient. Apparatus. London. I. S. 139. No. 969.

4449. E. Rählmann. *Ueber den Daltonismus und die Young'sche Farbentheorie.* Graefe's Arch. XXII. (1.) S. 29.

4450. H. Riccò. *Ueber die Farbenwahrnehmung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXII. 1. S. 282—291.

4451. O. N. Rood. *The constants of colour.* Quat. Journ. of sc. No. 52.

4452. J. Stilling. *Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen.* Aufserord. Beil.-Hefte z. d. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XIV.

1877.

4453. S. Bert. *De la couleur verte.* Gaz. méd. de Paris. S. 197. — Gaz. des hôpit. S. 286.

4454. A. Chodin. *De l'influence de l'augmentation de la pression oculaire sur la perception des couleurs.* Ann. d'Oculist. LXXVIII. S. 1—29.

4455. — *Ueber die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Lichtstärke.* Samml. physiol. Abhandl. v. Preyer. VII. 66 S. Jena, Dufft.

4456. F. C. Donders. *Die quantitative Bestimmung des Farbenunterscheidungsvermögens.* Arch. f. Ophthalm. XXIII. 4. S. 282—291.

4457. A. Favre. *Du traitement du Daltonisme dans les écoles.* Lyon.

4458. A. Favre. *Recherches cliniques sur le Daltonisme.* Gaz. hebdom. S. 650—652.
4459. H. Grassmann. *Bemerkungen zur Theorie der Farbenempfindungen.* Anhang zu: Preyer, Elemente der reinen Empfindungslehre. Samml. physiol. Abhandl. I. 10. S. 84—93.
4460. G. Jaeger. *Einiges über Farben und Farbensinn.* Kosmos. I.
4461. Th. Leber. *Die Störungen des Farbensinnes.* Handb. d. Augenheilkde. v. Graefe u. Sämisch. V. 2. S. 1017—1044.
4462. E. Regéczy. *Ueber Farbenwahrnehmung.* (Ungarisch.) Orvosi Hetilap. No. 23.
4463. J. Stilling. *Ueber Prüfung des Farbensinnes.* Beil. z. d. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 168—173. — Beil. z. Septemberheft d. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 28.
4464. G. G. Stokes. *The absorption of light and the colours of natural bodies.* London, Mc. Millan & Co.
4465. A. Weinhold. *Ueber Farbenwahrnehmung.* Pogg. Ann. No. 12. S. 631—658.
4466. *Colour-Blindness.* Brit. med. Journ. No. 836.
4467. *Farbenkreis in 15 Abstufungen und 20 Anwendungstafeln, und zwar Complemente und Triaden.* Nach Prof. Dr. E. Brücke's Physiologie der Farben und unter dessen persönlicher Anleitung zusammengestellt. Wien.

1878.

4468. E. Brücke. *Ueber einige Empfindungen im Gebiete des Sehnerven.* Wien. Ber. Bd. 77. Abth. 3.
4469. A. Charpentier. *Sur la production de la sensation lumineuse.* Compt. Rend. Bd. 86. S. 1341—1344. Gaz. Méd. de Paris. No. 24. S. 291.
4470. — *Sur la distinction entre les sensations lumineuses et les sensations chromatiques.* Compt. Rend. Bd. 86. S. 1272—1274. — Gaz. Méd. de Paris. No. 23. S. 281.
4471. — *Les sensations lumineuses et les sensations chromatiques.* Arch. génér. Juli. S. 118.
4472. E. Chevreul. *Deux notes sur la vision des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 86. S. 854—858 u. 985—991.
4473. — *Observations à propos des recherches de M. Rosenstiehl, sur le noir absolu ou noir idéal.* Compt. Rend. Bd. 87. S. 129.
4474. A. Chodin. *Ueber den Einfluſs der Verstärkung des intraoculären Drucks auf die Farbenempfindungen.* Milit.-med. Journ. Juni.
4475. H. Cohn. *Beobachtungen an 100 Farbenblinden.* Ber. üb. d. Stzg. d. Heidelb. Ophthalm. Ges. S. 110—120. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. Beil. z. Augustheft.
4476. Ch. Cros. *Sur une observation de couleurs complémentaires.* Compt. Rend. Bd. 86 S. 983.
4477. M. J. Delboeuf. *Rapport sur les questions relatives au Daltonisme intéressant les administrations du chemin de fer.* Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. XLV. No. 4.
4478. J. Delboeuf und W. Spring, *Recherches expérimentales théoriques sur le Daltonisme.* Rev. Scient. 2. VII. No. 38. S. 889—892 u. 901—904.
4479. — *Moyen de produire et de corriger le Daltonisme.* Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. XLV. No. 1.
4480. F. C. Donders. *La détermination numérique du pouvoir de distinguer les couleurs.* Arch. d'Ophthalm. 11. IX. S. 275—183.
4481. — *Over dichromatische stelsels.* Kon. Akad. v. Wetensch. Afd. Natuurk. 28. Dec. 1878.
4482. Dor und Favre. *Nouvelles recherches sur la détermination quantitative de la vision chromatique.* Lyon méd. 7. u. 14. April. — Lyon, Assoc. typogr. 16 S.
4483. E. Dreher. *Beitrag zur Theorie der Farbenwahrnehmung.* Berlin, Hempel. 87 S.
4484. Favre. *Daltonisme.* Arch. génér.
4485. — *Sur le daltonisme, précautions sanitaires et moyens préventifs.* Compt. Rend. LXXXVI. S. 1377.
4486. A. E. Fick. *Eine Notiz über Farbenempfindung.* Pflüger's Arch. f. Physiol. XVII S. 152—153.
4487. G. Stanley Hall. *The perception of color.* Proc. of the Americ. Acad. of Art and Sc. XIII. — Boston Med. and Surg. Journ. S. 475—477.
4488. J. Henry. *Color-Blindness.* Rep. Smithson Inst. S. 196—200.

1489. HJORT. *Om Farveblindhed.* Norsk. Mag. for Lägevid. 3. R. VIII. 3 Forh. S. 27—29.

1490. FR. HOLMGREN. *Einige neuere praktische Methoden zur Entdeckung der Farbenblindheit.* Upsala Läkaref Förh. XIII. S 193—226.

1491. — *Ueber den farbigen Schatten und die Farbenblindheiten.* Upsala Läkaref. Förh. XIII. S. 456—565.

1492. E. JAVAL. *Correction du Daltonisme.* Gaz. des Hôpit. No. 54. S. 430. — Progr. Méd. No. 18. S. 340.

1493. J. JEFFRIES. *Dangers from Color Blindness in railroad employés and pilots.* Boston, Rand, Avery & Co.

1494. — *Incurability of congenital color-blindness.* The Boston Med. and Surg. Journ. March 28.

1495. — *Color-Blindness. A lecture.* Boston daily Advertiser.

1496. D. KITAO. *Zur Farbenlehre.* Inaug.-Diss. Göttingen.

1497. J. V. KRIES. *Beitrag zur Physiologie der Gesichtsempfindungen.* du Bois' Arch. f. Physiol. 1878. S. 503—524.

1498. E. LANDOLT u. A. CHARPENTIER. *Des sensations de lumière et de couleurs dans la vision directe et dans la vision indirecte.* Compt. Rend. Bd. 86. S. 495—497. — Gaz. Méd. de Paris. No. 10. S. 120.

1499. A. LEDERER. *Ueber Farbenblindheit.* Gesundheit. III. S. 22.

1500. H. MAGNUS. *Beiträge zur Kenntnis der physiologischen Farbenblindheit.* Arch. f. Ophthalm. XXIV. (4.) S. 171—236.

1501. — *Die Farbenblindheit, ihr Wesen und ihre Bedeutung.* Breslau, J. U. Kern. 60 S.

1502. — *Die Farbenblindheit.* Nord u. Süd. Dec. VII. (18.) S. 235—245.

1503. — *Neueres zur Theorie und Praxis der Farbenblindheit.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 20.

1504. H. MAGNUS, H. COHN u. JACOBI. *Ueber Farbenblindheit.* Bresl. Ztg. No. 59. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 56—58 u. 82—86.

1505. F. MINDER. *Beitrag zur Lehre von der Farbenblindheit.* Inaug.-Diss. Bern, Stämpfli.

1506. NUËL. *L'amblyopie alcoolique et le Daltonisme.* Bull. de l'Acad. roy. de Méd. de Belgique. (3.) XII. No. 7. S. 686—701. — Ann. d'Oculist. LXXX. No. 3 u. 4.

1507. O. RADDE. *Internationale Farbenscala. 42 Gammen mit 882 constanten Tönen.* Hamburg-Paris, Steno-chrom. Anst. v. Radde.

1508. ROSENSTIEHL. *De l'emploi des disques rotatifs pour l'étude des sensations colorées; de l'harmonie des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 86. S. 343.

1509. — *Assortiment des couleurs.* Soc. d'encourag. p. l'industr. nat. V. 24. 12 S.

1510. — *Définition et classification des couleurs.* Assoc. franz. p. l'avanc. d. sc. 29. VIII. 12 S.

1511. J. STILLING. *Ueber Farbensinn und Farbenblindheit.* Cassel, Fischer. 34 S.

1512. A. WEBER. *Ueber Prüfung des Farbensinnes.* Ber. d. Vers. d. Heidelb. Ophthalm. Ges. S. 130—132. — Beil. z. Augusth. d. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 38—40.

1879.

1513. J. AITKEN. *Colour-Blindness.* Nature. No. 522. — Journ. anat. and phys. XIII. S. 322.

1514. BATUT. *De la chromatopseudopsie.* Thèse de Paris.

1515. G. A. BERRY. *Remarks on the Examination and Classification of Cases of Colour-Blindness.* Edinb. Med. Journ. Bd. 292. S. 305.

1516. BRIBOSIA. *Rapport sur les communications de M. Möller, relatives au daltonisme.* Bull. de l'Acad. roy. de Méd. de Belgique. (3.) XIII. 2. S. 208—228.

1517. H. F. BROWN und J. HEROU. *Verhalten des Auges zur Neutraltinte.* Ann. de Chimie. Bd. 199. S. 178.

1518. E. BRÜCKE. *Ueber einige Consequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie.* Wien. Ber. LXXX. (3.) 3. Juli.

1519. CAMERON. *Colour-Blindness.* Dublin. Journ. Sept.

1520. C. CHEVREUL. *La vision des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 88. S. 929—940. Rev. Scient. No. 47.

1521. CINTOLESI. *Intorno alle immagini accidentali o suggettive.* Ann. d'Ottalm. VIII. 2/3. — Nature. XXI. 21. — Beibl. d. Phys. III. S. 711.

1522. H. COHN. *Studien über angeborene Farbenblindheit.* Breslau, E. Morgenstern.

1523. — *Einige Bemerkungen über Herrn Dr. Magnus' Aufsatz über Farbenblindheit.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXV. 1. S. 341.

4524. H. Cohn. *Quantitative Farbensinnbestimmungen.* Arch. f. Augenheilkde. IX. S. 84.
4525. — *Zur Abwehr (gegen Magnus: Ueber Farbenblindheit).* Beil. z. Centralbl. f. Augenheilkde. III. October.
4526. — *Die Arbeiten des Herrn Prof. Holmgren über Farbenblindheit und seine Kampfesweise.* Breslau, Morgenstern.
4527. — *Farbensinn-Messungen im directen Sonnenlicht und bei electrischem Licht.* 12. Vers. d. Ophthalm. Ges. Ber. S. 6—9. — Arch. f. Augenheilkde. IX. 2. (1880.)
4528. — *Ueber angeborene und erworbene Farbenblindheit.* Bresl. ärztl. Zeitschr. I. No. 6.
4529. H. Coursserant. *Sur l'emploi méthodique des verres de couleurs dans l'achromatopsie.* Acad. des sc. 21. April. — Gaz. méd. No. 19.
4530. Ch. Cros. *Les couleurs, le chromomètre et la photographie des couleurs.* Journ. de phys. VIII. S. 233—236.
4531. — *Sur la classification des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 88. S. 119—122.
4532. A. Daae. *Die Farbenblindheit und deren Erkennung.* Deutsch von M. Sänger. Berlin, Dörffel & Hirschwald.
4533. — *Ueber Farbenblindheit.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 1.
4534. F. C. Donders. *Sur les systèmes de couleurs.* Congr. intern. des sc. méd. à Amsterdam. Section de Biologie. Sept.
4535. — *Des systèmes dichromatiques.* Ann. d'Oculist. Bd. 81. S. 7—10.
4536. A. Emery. *Proposito della dottrina del Acromatopsia.* Movimento I. S. 345.
4537. Everett. *Colour-vision and colour-Blindness.* Nature. No. 525.
4538. Favre. *Le traitement du daltonisme congénital par l'exercice, chez l'enfant et chez l'adulte.* Gaz. hebdom. No. 6 u. 7.
4539. Govi. *Ueber Behandlung von Fehlern der Farbenwahrnehmung.* Nederl. Tijdschr. voor Genesk. XIV. 2.
4540. Hall. *On the perception of colour.* Proc. of the americ. acad. of arts and sc. III.
4541. Fr. Holmgren. *Die Arbeiten des Herrn Professor Cohn über Farbenblindheit.* Upsala Läkaref. Förh. XIV. S. 538—589. (Auch separat erschienen.)
4542. B. J. Jeffries. *Color-Blindness: its dangers and its detection.* Boston, Hougthon. Osgood & Co. 312 S.
4543. S. Kalischer. *Die Farbenblindheit.* Berlin, Hempel.
4544. Keyser. *Ueber Farbenblindheit.* Ztg. d. Ver. dtsch. Eisenb.-Verw. No. 48.
4545. J. v. Kries und Küster. *Ueber angeborene Farbenblindheit.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. S. 513—524.
4546. Lederer. *Zur Mechanik der Farbenwahrnehmung.* Kosmos. IV. S. 438—457.
4547. J. Macé de Lépinay und W. Nicati. *Recherches sur le daltonisme.* Compt. Rend. Bd. 89. S. 716—719. — Gaz. méd. de Paris. No. 46.
4548. H. Magnus. *Die physiologische Farbenblindheit.* Ausland. No. 3. — Allg. Ztg. 26. Mai — N. Fr. Pr. No. 5175.
4549. — *Antwort auf die Arbeit des Herrn Professor Cohn: „Einige Bemerkungen u.s.w."* Arch. f. Ophthalm. XXV. 2. S. 280—284.
4550. L. Mauthner. *Die Prüfung des Farbensinnes.* Wiesbaden, Bergmann.
4551. — *Nomenclatur und Theorie der Farbenblindheit.* Wien. med. Wochenschr. No. 45. Wien. med. Pr. No. 46.
4552. Moeller. *Du Daltonisme au point de vue théorique et pratique. Etude critique des méthodes d'exploration du sens chromatique.* Bruxelles, Manceaux. 146 S.
4553. Nuel. *Des altérations du sens chromatique.* Journ. d. sc. méd. de Louvain. IV. S. 152—163.
4554. — *Ueber die erworbenen Störungen des Farbensinnes.* Ann. d'Oculist. Bd. 82. S. 1—77. — Bull. de l'Acad. de Belgique. (3.) XIII. No. 3.
4555. E. Netoliczka. *Untersuchungen über Farbenblindheit und Kurzsichtigkeit.* 28. Jahres-Ber. d. steiermärk. Landes-Ober-Realschule. Graz.
4556. H. W. Payl. *On Colour-Blindness.* Brit. med. Journ. 25. October.
4557. Picard. *La cécité des couleurs.* Gaz. méd. No. 11.
4558. W. Pole. *Colour-Blindness.* Nature. No. 516.
4559. — *Hering's Theorie of the vision of light and colors.* Nature. No. 521—523.
4560. A. v. Reuss. *Ueber Farbenblindheit.* Wien. Klin. V. (3.) S. 65—100.
4561. Riccò. *Studio universale della percezione dei colori.* Giorn. d. malatt. d. occhi I. (5/6.)

1562. O. N. Rood. *Our memory for colour and luminosity.* U. S. Nat. Acad. of Sc. réunion d'oct. — Nature XXI. S. 144.
1563. Schwartz. *Effect of distance on appreciation of colour.* Proc. Amer. Acad. VII. S. 229.
1564. J. Stilling. *Ueber Farbenblindheit.* Ber. d. XII. Vers. d. Ophthalm. Ges. Klin-Monatsbl. f. Augenheilkde. XVII. S. 176.
1565. — *Ueber das Sehen der Farbenblinden.* 91 S.
1566. — *Ueber den Stand der Farbenfrage.* Arch f. Augenheilkde. VIII. S. 18—37.
1567. H. R. Swanzy. *Colour-Blindness.* Brit. med. Journ. 4. Oct.
1568. J. Talko. *Untersuchungen über Farbenblindheit.* (Russisch.) Medycyna, Warszawa. VII. S. 247, 264 u. 278.
1569. Tennant. *Colour-Blindness.* Nature. No. 528.
1570. B. J. R. Wolfe. *On Colour-sight and Colour-blindness.* London, Churchill. — Lancet, II. No. 1. S. 23. — Med. Times. No. 1501—1503.

1880.

1571. O. Berger. *Hypnotische Farbenblindheit.* Breslauer ärztl. Zeitschr. No. 10—12.
1572. C. A. Bucklin. *On the effects of distance on color.* New-York med. Rec. XVII. S. 199.
1573. A. Charpentier. *Le sensde la lumière et le sens des couleurs.* Prog. méd. No. 34. Arch. d'ophthalm. I.
1574. — *Sur la quantité de lumière nécessaire pour percevoir la couleur d'objets de différentes surfaces.* Compt. Rend. T. 92. S. 92.
1575. E. Chevreul. *Sur la vision des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 91. (1.) S. 16.
1576. H. Cohn. *Das Verschwinden der Farbenblindheit beim Erwärmen eines Auges.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 16. — Bresl. ärztl. Zeitschr. No. 8.
1577. — *Ueber hypnotische Farbenblindheit mit Accommodationskrampf und über Methoden, um das Auge zu hypnotisiren.* Bresl. ärztl. Zeitschr. No. 6.
1578. Danilow. *Zur Frage der Anomalie des Farbensinnes.* Diss. Petersburg. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IV. S. 281.
1579. F. C. Donders. *Remarques sur les couleurs et la cécité des couleurs.* Arch. d'ophthalm. LXXXIV. S. 205—216. — Brit. med. Journ. No. 13.
1580. E. Dreher. *Beiträge zur Theorie der Farbenwahrnehmung.* In: *Beitr. zu einer exacten Psycho-Physiologie.* Halle. S. 69—91.
1581. — *Theorie der Farbenwahrnehmung.* Die Natur (N. F.) VI. No. 21. 25. 29.
1582. Favre. *Sur le Daltonisme.* Acad. de méd. 10. Aug. — Arch. génér. Sept.
1583. — *Mémoire sur la dyschromatopsie.* Rev. méd. No. 33.
1584. A. Fick. *Ueber die Farbenempfindungen.* Dtsch. Rundsch. April.
1585. Grossmann. *Ueber die Messung der Schärfe des Farbensinnes..* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Bd. IV. S. 298.
1586. R. Günther. *Der Farbensinn, sein Wesen und seine Entwickelung.* Diss. München.
1587. R. Haidenhain. *Zur Kritik hypnotischer Vorgänge.* Bresl. ärztl. Zeitschr. 13. März.
1588. R. Haidenhain u. Grützner. *Halbseitiger Hypnotismus, hypnotische Aphasie, Farbenblindheit und Mangel des Farbensinnes bei Hypnotischen.* Bresl. ärztl. Zeitschr. Febr.
1589. J. F. Head. *Control of Color-Blindness.* New-York. med. Rec. XVII. S. 496.
1590. E. Hering. *Zur Erklärung der Farbenblindheit aus der Theorie der Gegenfarben* Lotos. N. F. Bd. I. Auch separat. Prag 1880.
1591. F. Holmgren. *Wie die Farbenblinden die Farben sehen.* Upsala Läkaref. Förh XVI. S. 69—75.
1592. — *Ueber die subjective Farbenempfindung der Farbenblinden.* Centralbl. f. d. med. Wiss. Berlin. No. 49. S. 898—900 u. No. 50. S. 913—916.
1593. Horstmann. *Ueber Farbenblindheit.* Dtsch. med. Wochenschr. VI. No. 44.
1594. S. Kalischer. *Die Farbenblindheit in theoretischer und praktischer Hinsicht.* Gaea. XVI. (3.)
1595. W. Krenchel. *Ueber die Hypothesen von Grundfarben.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (1.) S. 91.
1596. W. Manz. *Einige Wirkungen der Fuchsingläser.* Ber. d. Sect. f. Ophthalm. d. Naturf. Vers. zu Baden-Baden. 19.—24. Sept.
1597. G. Mari. *L'Aberrazione nella visione dei colori.* Piacenza.
1598. E. J. Mellberg. *Ueber Farbenblindheit.* Nord. med. ark. XII. (4.) No. 24.
1599. Morano. *Intorno ai lavori piu recenti sul Daltonismo.* Giorn. di Ottalm. April.

4600. E. Netoliczka. *Untersuchungen über Farbenblindheit und Kurzsichtigkeit.* Graz. XXIX. Jahresber. d. steiermärk. Landes-Ober-Realschule.
4601. M. Peschel. *Experimentelle Untersuchungen über die Adaptation der Netzhaut für Farben.* Pflüger's Arch. XXI. S. 405.
4602. O. N. Rood. *Effects produced by mixing white with colored light.* Sillim. Journ (3.) XX. S. 81.
4603. — *Newton's use of the term Indigo with reference to colour of the Spectrum.* Sillim. Journ. (3.) XIX. S. 135—137.
4604. R. Ruck. *Sur le sens des couleurs.* Rev. mens. de méd. et de chir. IV. S. 500—504.
4605. R. Schirmer. *Farbenblindheit.* Eulenburg's Real-Encyklopädie d. ges. Heilkde V. S. 209—220.
4606. Schneller. *Ueber den Sitz der Farbenempfindung.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 42 Tagebl. d. Vers. d. Naturf. u. Aerzte in Danzig. Ophthalm. Sect. S. 108 u. 254
4607. J. Stilling. *Ueber das Sehen der Farbenblinden.* Zehender's Mtsbl. S. 481. Centralbl f. Augenheilkde. October.
4608. Wolfe. *Control of Color-Blindness.* Boston evening transcript. No. 16.

1881.

4609. E. W. Bartlett. *Color-blindness.* Rep.. Bd. Health Wisconsin. — Madison. 1882 VI. (2.) S. 16.
4610. Bannister. *On some points in regard to color-blindness.* Journ. of nerv. and ment disease. VIII. (6.)
4611. J. Bjerrum. *Hemianopsie für Farben.* Hosp. Tid. (2 R.) VIII. (3.) S. 41 Schmidt's med. Jahrb. XCXI. S. 167.
4612. Brailey. *Report on Colour-Blindness.* Transact. of Ophthalm. Soc. of the U. K I. S. 191. — Brit. med. Journ. 23. April.
4613. E. v. Brücke. *Ueber einige Consequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie* 2. Abh. Wien. akad. Ber. Bd. 84. (3.) S. 425—458.
4614. Ole. B. Bull. *Studien über Lichtsinn und Farbensinn.* Arch. f. Ophthalm. XXVII (1.) S. 54.
4615. S. M. Burnett. *Color-Perception and Color-Blindness.* Arch. of Ophthalm. X No. 1.
4616. G. Couturier. *Des sensations colorées.* Thèse de Paris.
4617. F. C. Donders. *Ueber Farbensysteme.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (1.) S. 155—223 — Arch. néerl. XVI. (2.) S. 150—214. — Ann. d'Oculist. Bd. 86. S. 109—14 u. 197—220. — XXII. versl. v. het Ned. Gasth. v. Ooglijd. S. 1—72. — Utrecht'sch Onderzoek. (3.) VI. (1.) S. 79—151.
4618. Dor. *De l'état actuel de nos connaissances sur le daltonisme.* Compt. Rend. d VI. congr. internat. d'ophthalm. in Mailand. S. 179.
4619. O. E. de Fontenay. *Ueber Anomalien des Farbensinnes.* Hosp. Tid. (2. R.) VIII S. 29 bis 36.
4620. E. v. Fleischl. *Ueber die Theorien der Farbenwahrnehmung.* Sitzgs.-Ber. d. Ges. d Aerzte zu Wien. S. 742. — Wien. med. Wochenschr. No. 25. — Wien. med. Blätter IV. No. 24. — Wien. med. Jahrb. 1882. S. 73. — Biol. Centralbl. Bd. I. S. 499.
4621. Galezowski. *Dyschromatopsie pathologique et ses différentes variétés.* Gaz. méd. d Paris. No. 23. S. 333. — Soc. de Biol. Mai 21.
4422. — *Achromatopsie des alcooliques.* Progès méd. No. 23. S. 440.
4623. A. Geissler. *Ueber Farbenblindheit.* Schmidt's Jahrb. d. ges. Med. Bd. 191. S. 73—11
4624. Gillet de Grandmont. *Sur un procédé expérimental pour la détermination de l sensibilité de la rétine aux impressions lumineuses colorées.* Compt. Rend. Bd. 9 No. 21. S. 1189. Gaz. méd. de Paris. No. 23. S. 329. Franç. méd. 64. Journ. d thérap. 11.
4625. Giraud-Teulon. *Des aberrations du sens chromatique ou du daltonisme.* Arch. géné de méd. No. 1. S. 52—72. No. 2. S. 176—198.
4626. v. Hasner. *Ueber Farbenscheu.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Januar. S.
4627. H. Helmholtz. *Vorbemerkung zu einer nachgelassenen Abhandlung von Fran Boll: Thesen und Hypothesen zur Licht- und Farbenempfindung.* du Bois-Re mond's Arch. Jahrg. 1881. S. 1—3.
4628. Fr. Holmgren. *How do the colourblind see the different colours?* Proceed. of th London Roy. Soc. No. 209.

1629. Fr. Holmgren. *Comment les aveugles pour les couleurs voient les couleurs.* Upsala Läkaref. Förh. XVI. Beil. zu Heft 2/3. S. I—VIII.

1630. — *Om ensidig färgblindhet.* Upsala Läkaref. Förh. XVI. S. 145—146.

1631. — *Fall af ensidig violettblindhet.* Upsala Läkaref. Förh. XVI. S. 563.

1632. Jaeger. *Die Farbenblindheit nach anderer Art beleuchtet.* Die Natur. No. 15.

633. B. J. Jeffries. *A peculiar expression of the eyes of the color-blind.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. XVII. meeting. New-York. S. 208—211. — Transact. of the internat. med. Congr. VII. Sess. London. III. S. 121.

634. — *On some points in regard to color-blindness.* Journ. of nerv. and ment. disease. VIII. (3.)

635. A. de Keersmaecker. *Le daltonisme et les altérations du sens visuel.* Brüsels, Manceaux. Paris, Delahaye.

636. B. Kolbe. *Geometrische Darstellung der Farbenblindheit.* Petersburg, Kranz.

637. J. v. Kries u. M. v. Frey. *Ueber die Mischung der Spectralfarben.* Arch. f. (Anat. u.) Physiol. S. 336—353.

638. J. Macé de Lépinay u. W. Nicati. *Explication du symptôme héméralopie. (Daltonisme accidentel bleu.)* Rec. des act. du comité méd. d. Bouches-du-Rhône. Mai-Juli.

639. L. Mauthner. *Ueber das Wesen und die Bestimmung der Farbenblindheit.* Mitth. d. Wien. med. Doct.-Colleg. VII. (1./2.)

640. W. Preyer. *Ueber den Farben- und Temperatursinn mit besonderer Rücksicht auf Farbenblindheit.* Pflüger's Arch. Bd. 25. S. 31—100. (Auch separat. Bonn).

641. — *Zur Theorie der Farbenblindheit.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 1.

642. Rayleigh. *Experiments on Colour.* Nature. No. 24. S. 264.

643. A. René. *De la cécité des couleurs.* Gaz. des hôp. No. 4 u. 5.

644. A. Rosenstiehl. *Détermination des couleurs, qui correspondent aux sensations fondamentales à l'aide des diques rotatifs.* Compt. Rend. Bd. 92. S. 244—247.

645. — *Détermination de la distance angulaire des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 93. S. 207—210.

646. — *Discussion de la théorie des trois sensations colorées fondamentales.* Compt. Rend. Bd. 92. S. 1286—1289.

647. — *Détermination des sensations colorées fondamentales, par l'étude de la répartition des couleurs complémentaires dans le cercle chromatique.* Compt. Rend. XCII. S. 244.

648. P. Schubert. *Ueber Farbenempfindung und Farbenblindheit.* Corresp. von u. für Deutschland. No. 463. 470. 474. 481.

649. Schuster. *Die Farbenblindheit.* Verh. u. Mitth. d. Siebenbürg. Ver. f. Naturwiss. in Hermannstadt. XXXI.

650. F. Smith. *Apparent decomposition of sunlight by intermittent reflecting surfaces.* Nature. XXIV. S. 141.

651. A. W. Soward. *Note on the recombination of the spectral colours by a second prism reversed.* Chem. News. 44. S. 267.

652. Ph. Steffan. *Beitrag zur Pathologie des Farbensinnes.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (2.) S. 1.

653. Szilágyi. *Ueber monoculares Mischen der Farben.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 28. S. 513.

654. Vogt. *Ueber Farbenempfindung und Farbenbezeichnung.* Die Natur. No. 8.

1882.

655. E. Albert. *Ueber die Aenderungen des Farbentones von Spectralfarben und Pigmenten bei abnehmender Lichtstärke.* Wiedemann's Ann. XVI. S. 129.

56. Bayer. *Ueber erworbene Farbenblindheit.* Prag. med. Wochenschr. No. 4. u. 5.

57. N. E. Brill. *Color-blindness from a cerebral lesion.* Chicago. Med. Rev. V. S. 162.

58. J. S. Burnett. *Color-blindness and color-perception.* Pop. Sc. Month. New-York. XXI. S. 86.

59. E. Chevreul. *Recherches relatives à la vision des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 95. No. 21. S. 1086.

60. Cross. *Complementary colours.* Nature. XXVII. S. 150.

61. F. C. Donders. *Explications sur les systèmes chromatiques.* Ann. d'ocul. Bd. 87. S. 205.

62. — *Neue Untersuchungen über Farbensysteme.* Onderzoek. i. Labor. d. Utrecht. Hoogesch. Derde. Reeks. VII. S. 95.

63. E. v. Fleischl. *Ueber die Theorien der Farbenwahrnehmung.* Wien. med. Jahrb. S. 73.

4664. Gamalobo. *Cécité des couleurs.* Rec. d'Ophthalm. S. 513.
4665. A. Geissler. *Die Farbenblindheit, ihre Prüfungsmethoden und ihre praktische Bedeutung.* Leipzig.
4666. Giraud-Teulon. *Physiologie de la vision.* Bull. acad. de Méd. (2.) XI. S. 1220.
4667. — *Théorie des sensations colorées.* Bull. Acad. de Méd. (2.) XI. No. 43.
4668. G. de Grandmont. *De la vision des couleurs.* Bull. de la soc. de méd. légale. Ann. d'Hyg. Juli.
4669. J. B. Hannay. *Colour Perception.* Nature. XXV. S. 604.
4670. E. Hering. *Kritik einer Abhandlung von Donders: „Ueber Farbensysteme".* Jahrb. „Lotos". II. Prag. 33 S.
4671. Hoh. *Eigenempfindungen über Farbenempfindungen.* Ber. d. naturf. Ges. in Bamberg. XII. S. 31—34.
4672. R. Hilbert. *Das Verhalten der Farbenblinden gegenüber den Erscheinungen der Fluorescenz.* Königsberg, Hartung.
4673. — *Farbenblindheit.* Schrift. d. physiol.-ökonom. Ges. in Königsberg. XXIII. S. 10.
4674. Horstmann. *Farbensinn und Farbenblindheit.* Dtsch. med. Wochenschr. S. 99, 113. 126.
4675. B. J. Jeffries. *Color-names, Color-blindness and the education of the color-sense in our schools.* „Education". March.
4676. A. B. Kibbe. *Colour-Blindness.* Rocky Mountain. M. Times. Denver. I. S. 379.
4677. J. Kramer. *Untersuchungen über die Abhängkeit der Farbenempfindung von der Art und dem Grade der Beleuchtung.* Diss. Marburg.
4678. W. Kroll. *Ueber die günstigen Erfolge der Ausbildung des Farbensinnes.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. December.
4679. Macgowan. *Color-blindness.* Lancet. I. S. 77.
4680. J. L. Minor. *Central color-scotoma.* Americ. Journ. of the med. Sc. April.
4681. Oliver. *Color-blindness.* Philad. med. Times. XII. S. 212.
4682. — *Preliminary paper on the determination of a standard of color-sense for reflected colour by daylight.* Arch. f. Ophthalm. XI. No. 1.
4683. Rayleigh. *Experiments on colour.* Nature. XXV. S. 64.
4684. C. Roberts. *Colour-blindness as a racial character.* Lancet. I. S. 124.
4685. W. Rosenberg. *Einfaches Mittel, das Entstehen von Weifs bei Mischung complementärer Farben zu demonstriren.* Journ. d. russ. chem.-phys. Ges. XIV. S. 548.
4686. A. Rosenstiehl. *Recherches sur les lois de la vision des couleurs.* Bull. de la Soc. industr. de Mulhouse, séance du 28 sept. 1881.
4687. — *De la sensation du blanc et des couleurs complémentaires.* Compt. Rend. Bd. 95. No. 25. S. 1275 u. 1295.
4688. R. Schelske. *Versuche über Farbenmischungen.* Wiedemann's Ann. XVI. S. 349.
4689. Schneller. *Zur Frage vom Farbensinncentrum.* Arch. f. Ophthalm. XXVIII. (3.) S. 73.
4690. P. Schubert. *Ueber Farbenempfindung und Farbenblindheit.* Corresp. von u. für Deutschland. No. 111, 117, 126, 137. 139.
4691. Smith. *Colour Perception.* Nature. XXVI. S. 30.
4692. J. Stilling. *Einige Bemerkungen über Farbenprüfung.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. VI. S. 35.
4693. Swan. *Perception of Colour.* Nature. XXVI. S. 246.
4694. A. J. van der Weyde. *Die Systeme der Farbenblinden.* Arch. f. Ophth. XXVIII (2.) S. 1.
4695. — *Methodisch onderzoek der kleurstelsels van kleurblinden.* Diss. Utrecht.
4696. Whitmell. *A natural experiment on complementary colours.* Nature. XXVI. S. 573.

1883.

4697. Ole Bull. *Bemerkungen über den Farbensinn unter verschiedenen physiologischen und pathologischen Verhältnissen.* Arch. f. Ophthalm. XXIX. (3.) S. 71.
4698. Carpenter. *Color-blindness.* Cincin. Lancet. and Clin. n. s. XI. S. 362 u. 372.
4699. A. Charpentier. *Perceptions des couleurs à la périphérie de la rétine.* Arch. d'Ophthalm III. S. 12.
4700. — *La perception des couleurs et la perception des différences de clarté.* Compt. Rend Bd. 96. S. 1079.
4701. — *La perception des couleurs et la perception de formes.* Compt. Rend. Bd. 96 S. 858 u. 1079.

1702. A. Charpentier. *La perception du blanc et des couleurs complexes.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 1239.
1703. E. Chevreul. *Considérations générales sur les méthodes scientifiques et applications à la méthode a posteriori de Newton et à la méthode a priori de Leibnitz.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 1521—1545.
1704. Csapodi. *Egy adat a szinlátásnak a tárgylátástól való függetlenségéhez. (Zur Lehre der Unabhängigkeit des Farbensehens vom Objectsehen.)* Szemészet. No. 3.
1705. H. R. Droop. *On Colour Sensation.* Philos. Mag. (5.) XV. S. 373—384. — London phys. Soc. V. S. 217—230.
1706. F. C. Donders. *Kleurvergelijkingen.* Utrecht. Onderzoek. (3.) VIII. S. 170.
1707. — *Ueber Farbengleichungen.* Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg S. 164.
1708. — *Nog eens: De Kleurstelsels naar aanleiding van Hering's Kritiek.* Utrecht. 126 S.
1709. Th. Engelmann. *Couleur et assimilation.* Arch. néerl. des sc. exact. et natur. XVIII. S. 29.
1710. Graham. *A novel experiment in complementary colours.* Nature. XXVII. S. 294.
1711. A. Gayet. *Du daltonisme.* Gaz. hebd. des sc. méd. de Bordeaux. 7. Januar.
1712. Giraud - Teulon. *Considerations on the doctrine of the three fundamental fibres of Young as the basis of a theory of the sensation of colour.* Monit. sc. Quesneville. Februar.
1713. — *Physiologie de la sensibilité chromatique.* Bull. Acad. de méd. Paris. (2.) XII. S. 524.
1714. Govi. *Modo per ottenere la sensazione del bianco colla rotazione rapida di uno spettro circulare.* Atti. R. dei Lincei. (3.) Trans. VII. S. 164—167.
1715. R. Hilbert. *Die Young-Helmholtz'sche und die Hering'sche Farbentheorie.* Humboldt. II. (8.)
1716. R. J. Jeffries. *Colour-Blindness: Its dangers and its detection.* New ed. Boston.
1717. A. König. *Ueber den neutralen Punkt im Spectrum der Farbenblinden.* Verh. d. physik. Ges. in Berlin. 2. März. u. 16. Nov.
1718. — *Ueber den Ort der Schnittpunkte der Intensitätscurven für die drei Grundempfindungen im normalen Auge.* Verhandl. d. Physik. Ges. Berlin. 2. März.
1719. A. Laurent. *Du daltonisme, étiologie, fréquence, dangers.* Thèse de Paris.
1720. J. Moutier. *Ueber die Mischung der Farben.* Bull. soc. philomat. (7.) VII. — Rep. d. Phys. XIX. S. 672—674.
1721. Th. Petruscheffsky. *Ueber die mittlere Farbe (oder den Ton) einer vielfarbigen Oberfläche.* Journ. d. russ. chem.-phys. Ges. XV. S. 118—122.
1722. A. Rosenstiehl. *Définition des couleurs complémentaires.* Journ. de phys. (2.) II. S. 120—123.
1723. — *De la sensation du blanc et des couleurs complémentaires.* Rev. clin. d'Ocul. IV. (1).
1724. H. Scheffler. *Die Theorie des Lichtes, physikalisch und physiologisch, mit specieller Begründung der Farbenblindheit.* Leipzig. 161 S.
1725. Seggel. *Untersuchungen auf Farbenblindheit und Pupillendistanz.* Festschr. d. ärztl. Ver. München.
1726. J. Stilling. *Ueber das Sehen der Farbenblinden.*

1884.

1727. Augstein. *Ueber Störung des Farbensinnes bei Neuritis.* Arch. f. Augenheilkde. XIV. S. 347.
1728. Bickerton. *Case of colour-blindness.* Liverpool. med.-chir. Journ. IV. S. 421. — Brit. med. Journ. I. S. 225.
1729. L. Borthen. *La perception visuelle, spécialement par rapport au sens des couleurs, expliquée par mouvement moléculaire.* Compt. rend. de la 8me sess. du Congr. per. internat. des sc. méd. Copenhagen.
1730. O. B. Bull. *Farvesans.* Nord. med. Ark. Stockkolm. XV. No. 24. S. 1.
1731. S. M. Burnett. *Theories of colour perception.* Philadelphia. Americ. Journ. med. sc. Bd. 88. S. 70.
1732. — *Die Farbenempfindung und Farbenblindheit.* Arch. f. Augenheilkde. XII. (2./3.) S. 241.
1733. — *Are there separate centres for light-, form- and color-perception?* Arch. of Med. Vol. XII. No. 2. S. 97.
1734. A. Charpentier. *Recherches sur la perception différentielle des couleurs.* Arch. d'Ophthalm. S. 488.

4735. A. Charpentier. *Nouvelles séries d'expériences sur la perception différentielle des couleurs.* Acad. de sc. 26. Mai. — Union méd. No 79. S. 971.
4736. E. Chevreul. *De la vision de la couleur.* Gaz. hebd. No. 1. S. 7.
4737. G. St. Clair. *Spectrum colours, colour sensations and after images. Suggestions for extending the dynamical theory.* Proc. of the Birmingh. philos. Soc. IV. (1.) S. 116. Ophthalm. Rev. III. S. 97.
4738. F. C. Donders. *Equations de couleurs spectrales simples et de leur mélanges binaires dans les systèmes normaux (polychromatiques) et anormaux (dichromatiques).* Arch. Néerl. XIX. S. 303—346.
4739. — *Farbengleichungen.* Du Bois-Reymond's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 518—552.
4740. — *Proeve eener genetische verklaring van den kleurzin.* Nederl. Tijdschr. v. Geneesk. XX. S. 69. 89.
4741. — *Noch einmal die Farbensysteme.* v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. (1.) S. 15.
4742. J. Eichler. *122 Farbentafeln zur Farbenlehre.* 2. Aufl. Wien, Klinkhardt.
4743. Fano. *Etat de faculté chromatique de l'oeil chez les sujets atteints d'amaurose.* Journ. d'Ocul. S. 131. 143.
4744. R. Hilbert. *Zur Kenntnifs der pathologischen Farbenempfindungen. Ein Versuch einer Pathologie der Farbenempfindungen.* Betz' Memorabilien. XXIX. (9.) S. 526—540.
4745. — *Beiträge zur Kenntnifs der Farbenblindheit.* Pflüger's Arch. XXXIII. S. 293.
4746. F. Holmgren. *Bidrag till en kritik af Hering's färgteori.* (Vorl. Mittheil.) Upsala Läkaref. Förh. XIX. S. 245.
4747. — *Beitrag zur Young-Helmholtz'schen Theorie der Farbenempfindung.* Verh. d. intern. med. Congr. zu Kopenhagen. 1884.
4748. Jacobson. *Ueber die Abhängigkeit der Farbensinnstörungen von Krankheiten der Retina und des Nervus opticus.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. October.
4749. J. E. Johansson. *Undersökning af färgsinnet i blinda fläckens närmaste omgifning.* Upsala Läkaref. Förh. XIX. S. 491.
4750. A. König. *Ueber Farbensehen und Farbenblindheit.* Verh. d. physiol. Ges. zu Berlin. 1884/85. No. 1.
4751. — *Zur Kenntnifs dichromatischer Farbensysteme.* Wiedemann's Ann. XXII. S. 567. — Gräfe's Arch. XXX. (2.) S. 155—170.
4752. — *Ueber die bisher gemachten Bestimmungen der Wellenlängen einfacher complementärer Farben.* Verh. d. physik. Ges. Berlin. 13. Juni.
4753. B. Kolbe. *Zur Analyse der Pigmentfarben.* Graefe's Arch. XXX. (2.) S. 1.
4754. — *Nachtrag zur „Analyse der Pigmentfarben“.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. (4.) S. 313.
4755. — *Ueber die Nothwendigkeit der Bestimmung der Helligkeit der Pigmentfarben, welche bei Untersuchung des Farbenerkennungsvermögens benutzt werden.* Westnik ophthalm. Juni-October.
4756. F. Küster. *Der Farbensinn ein höchst verfeinerter Temperatursinn.* Corr.-Bl. d. dtsch. Ges. f. Anthropol. München. XV. S. 4.
4757. E. Miéville. *Nouvelle méthode de détermination quantitative du sens lumineux et chromatique.* Arch. d'ophthalm. März-April.
4758. Offert u. Rayleigh. *Colour-Blindness.* Engineering. XXXVIII. S. 41.
4759. H. Parinaud. *De l'intensité lumineuse des couleurs spectrales; influence de l'adaption rétinienne.* Compt. Rend. Bd. 99. S. 937.
4760. A. Rosenstiehl. *Colour.* Nature. XXXI. S. 58.
4761. C. B. Stemer. *Color-blindness.* Fort Wayne Journ. of med. sc. IV. S. 1.
4762. E. v. Szilagyi. *Ueber Bestimmung der Einwirkungsenergie der Pigmentfarben.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 17.
4763 T. Tommassi. *Le memoire locali e il Daltonismo.* Sperimentale. LIII. S. 64.

1885.

4764. W. R. Amick. *Light and color.* Cincin. Lancet a. Clinic. XV. S. 61.
4765. W. v. Bezold. *Ueber Herstellung des Farbendreiecks durch wahre Farbenmischung.* Münch. Ber. S. 305—324. — Wiedem. Ann. XXVI. S. 390—406.
4766. O. Bull. *Farvesenstabeller.* Forh. Norske med. Selsk. i Kristiania. S. 48.
4767. S. M. Burnett. *Are there separate centres for light-, form- and color-perception?* Washington. Bull. Phil. Soc. VIII. S. 72.
4768. J. Charpentier. *Définition, classification et notation des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 100. S. 808—810.

4769. J. Charpentier. *Théorie de la perception des couleurs.* Compt. Rend. Bd. 101. S. 275—277.
4770. Cunningham. *On the Colour-sense.* Nature. XXXII. S. 604—605.
4771. W. Dobrowolsky. *Ueber den Unterschied in der Farbenempfindung bei Reizung der Netzhaut an einer und an mehreren Stellen zu gleicher Zeit.* Pflüg. Arch. XXXV. S. 536—541.
4772. Th. Gray. *Colour blindness.* London. 435 S.
4773. M. Heaton. *The Sense of Colour.* Nature. XXXII. S. 626.
4774. E. Hering. *Ueber individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes.* Lotos. N. F. VI.
4775. — *Bemerkungen zu A. König's Kritik einer Abhandlung über individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IX. S. 327—332.
4776. R. Hilbert. *Das Verhalten der Farbenblinden gegenüber der anomalen Dispersion.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 233.
4777. — *Die subjectiven Farben und die Hering'sche Farbentheorie.* Betz' Memorab. XXX. (2.) N. F. V. S. 65.
4778. — *Zur Physiologie der Retina.* Pflüg. Arch. XXXVII. S. 123—126.
4779. A. König. *Ueber Farbensehen und Farbenblindheit.* du Bois' Arch. f. Physiol. S. 160.
4780. — *Ein Fall pathologisch entstandener Violett-Blindheit.* Verh. d. Berl. physik. Ges. IV. S. 65—69.
4781. — *Zur Kritik einer Abhandlung von Herrn E. Hering: Ueber individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Sept. S. 260.
4782. B. Kolbe. *Zur Vergleichbarkeit der Pigmentfarbengleichungen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Juliheft. S. 193.
4783. J. v. Kries und Brauneck. *Ueber einen Fundamentalsatz aus der Theorie der Gesichtsempfindungen.* Dubois' Arch. S. 79—84.
784. A. Lehmann. *Versuch einer Erklärung des Einflusses des Gesichtswinkels auf die Auffassung von Licht und Farbe bei directem Sehen.* Pflüger's Arch. XXXVI. S. 580—639.
785. E. L. Nichols. *On the Sensitiveness of the Eye to Colors of a Low Degree of Saturation.* Silliman's Journ. (3.) XXX. S. 37—41.
786. H. Parinaud. *Sur l'existence de deux espèces de sensibilité à la lumière.* Compt. Rend. Bd. 101. S. 821.
787. F. Petruscheffsky. *Ueber Farben bei künstlicher Beleuchtung.* Journ. d. russ. phys.-chem. Ges. XVII. (Phys. Theil.) S. 35—42.
788. C. Roberts. *The detection of colour-blindness and imperfect eyesight.* 2. Ausg. London.
789. A. Rosenstiehl. *Recherches sur les couleurs.* Rev. Sc. XXXV. S. 765.
790. *Colour-blindness in Germany..* Lancet. I. S. 140.
791. *Colour-blindness.* Lancet. I. S. 764.

1886.

792. Bickerton. *Colour-blindness.* Liverpool med.-chir. Journ. VI. S. 369.
793. — *Remarks on colour-blindness.* Lancet. II. S. 392.
794. E. A. Browne. *Painting by a colour-blind artist.* Transact. of the ophthalm. soc. of the unit. kingd. VI. S. 443. — Ophthalm. Rev. S. 111.
95. Deeren. *Physiologie de la perception des couleurs.* Rec. d'Ophthalm. S. 129.
96. Favre. *Le pronostic du daltonisme.* Arch. d'Ophthalm. VI. S. 229.
97. R. Feret. *Essai d'application du calcul à l'étude des sensations colorées.* Compt. Rend. Bd. 102. S. 44—47.
98. — *Vérification expérimentale d'une nouvelle représentation géométrique des sensations colorées.* Compt. Rend. Bd. 102. S. 256—259.
99. A. E. Fick. *Einige Bemerkungen über Farbenempfindung.* Pflüger's Arch. XXXIX. S. 18—20.
00. P. Glan. *Ein Grundgesetz der Complementärfarben.* Pflüger's Arch. XXXIX. S. 53—61. — Wien. Ber. XCII. S. 906—913.
01. E. Hering. *Ueber Newton's Gesetz der Farbenmischung.* Lotos, naturwiss. Jahrb. VII. S. 177. — Leipzig, Freytag. 92 S.
02. R. Hilbert. *Ueber die Erkenntlichkeit der Farben bei herabgesetzter Beleuchtung.* Memorab. Heft 1.
03. — *Ueber Farbensehen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Febr. S. 43.

4804. R. Hilbert. *Beitrag zur Kenntnifs der transitorischen Farbenblindheit.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 417.
4805. — *Zur Kenntnifs der permanenten Lichtempfindung.* Memorab. Heft 4.
4806. A. König und C. Dieterici. *Die Grundempfindungen und ihre Intensitätsvertheilung im Spectrum.* Sitzgs.-Ber. d. preufs. Acad. d. Wiss. in Berlin. 29. Juli.
4807. F. Holmgren. *Beitrag zur Young-Helmholtz'schen Theorie der Farbenempfindung.* Verh. d. physiol. Ges. zu Berlin. No. 18. — Verhandl. d. Skandinav. Naturforsch. Vers. in Christiania. 1886.
4808. E. Netz. *Farbenblindheit oder Farbenunkenntnifs?* Pädagogische Studie eines farbenblinden Lehrers. Jena.
4809. Trève. *Essai d'une explication physiologique des couleurs complémentaires.* Compt. Rend. Bd. 102. S. 984.
4810. Webster, Fox und G. W. Gould. *On heat considered as the retinal intermediate of light and color sensation.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 175.
4811. — *The human color-sense considered as the organic response to natural stimuli.* New York. 20 S. — Americ. Journ. of Ophthalm. S. 233.

1887.

4812. T. W. Backhouse. *The perception of colours.* Nature. XXXVI. S. 531.
4813. W. v. Bezold. *Ueber eine neue Methode zur Zerlegung des weifsen Lichtes in Complementärfarben.* Wiedem. Ann. XXXII. S. 165—167.
4814. Bickerton. *Colour-blindness; its present position in the mercantile marine service.* Brit. med. Journ. II. S. 498.
4815. Dogiel. *Ueber den Einflufs von Spectrumfarben auf die Menschen und Thiere.* (Russisch.) Abh. d. II. Congr. d. russ. Aerzte zu Moskau. II. S. 3.
4816. G. Govi. *Du cercle chromatique de Newton.* Compt. Rend. Bd. 105. S. 733—737.
4817. E. Hering. *Ueber Holmgren's vermeintlichen Nachweis der Elementarempfindungen des Gesichtssinnes.* Arch. f. d. ges. Physiol. XLI. S. 1—46.
4818. — *Beleuchtung eines Angriffes auf die Theorie der Gegenfarben.* Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 29—46.
4819. — *Gegenbemerkung an Kries.* Pflüger's Arch. Bd. 41. S. 397.
4820. M. Knies. *Ueber die Grundfarben* Ber. d. XIX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 70.
4821. — *Ueber Farbenempfindung und Farbenstörungen.* Erster Theil. Arch. f. Augenheilkde. XVII. S. 379—403. Zweiter Theil. XVIII. S. 50—65.
4822. A. König. *The modern development of Thomas Young's theory of colour vision.* Rep. Brit. assoc. advanc. sc. for 1886. S. 431. (Uebersetzt und mit Noten versehen: Naturwissenschaftl. Rundschau. 1886. Extrabeilage zu No. 50.)
4823. — *Ueber Newton's Gesetz der Farbenmischung und darauf bezügliche Versuche des Herrn Eugen Brodhun.* Sitzgs.-Ber. d. Königl. Preufs. Acad. zu Berlin. S. 311 bis 317.
4824. J. v. Kries. *Zur Theorie der Gesichtsempfindungen.* Du Bois' Arch. f. Physiol. (1/2.) S. 113—119.
4825. — *Entgegnung an Herrn E. Hering.* Pflüger's Arch. XLI. S. 389—397.
4826. J. T. Rudall. *Colour-blindness and other defects of sight in some of their medico-legal aspects.* Melbourne. 20 S.
4827. C. E. Stromeyer. *Perception of colour.* Nature. XXXV. S. 246 u. XXXVII. S. 79.
4828. H. W. Vogel. *Ein Mischfarbenexperiment.* Verh. d. Physik. Ges. Berlin. VI. S. 28—29.
4829. G. F. Waters. *Colour-blindness.* Science. X. S. 179.

1888.

4830. E. Brodhun. *Ueber das Leukoskop.* Wiedemann's Ann. XXXIV. S. 897.
4831. G. A. Calderon. *Hemiacromatopsia derecta absoluta; conservacion parcial de la percepción luminosa y de las formas.* Revista di Oftalm. XII. S. 337.
4832. A. Charpentier. *La lumière et les couleurs au point de vue physiologique.* Paris, Baillière & f.
4833. A. Favre. *Persistance de la guérison du Daltonisme congénital traité par l'exercice.* Gaz. hebd. de méd. (2.) XXXVI. S. 598.
4834. K. Grossmann. *Colour-blindness.* Brit. med. Journ. II. S. 275.
4835. E. Hering. *Zur Theorie der Vorgänge in der lebendigen Sustanz.* Lotos IX. — sep. Prag. 36 S.

4836. D. Isaachsen. *Zur Farbenlehre.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLIII. S. 289 bis 294.

4837. M. Knies. *Ueber Farbenempfindung und Farbenstörungen.* Dritter Theil. Arch. f. Augenheilkde. XIX. S. 253—263.

4838. — *Objective Demonstration der Farbengrundempfindungen.* Ber. d. intern. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 186.

4839. J. v. Kries. *Nochmalige Bemerkung zur Theorie der Gesichtsempfindungen.* Du Bois' Arch. S. 380—388.

4840. G. Mackay. *A discussion on a contribution to the study of hemianopsia, with special reference to acquired colour-blindness.* Brit. med. Journ. II. S. 1033. — Ophthalm. Rev. S. 272.

4841. E. dal Pozze. *La discromatopsia. Studi sulla visione dei colori.* Foligno. S. 370.

4842. O. C. Rios. *De la cromatopseudopsia ó ceguera de los colores.* Rev. méd. de Chile. Sant. de Chile. 1888/89. S. 385.

4843. H. W. Vogel. *Beobachtungen über Farbenwahrnehmungen.* Naturwiss. Rundsch. No. 15. S. 185.

4844. *Sulla cromatoscopia retinica nelle atrofie papillari.* Boll. d'oculist. Florenz. (2.) X. S. 1.

1889.

4845. G. Albertotti. *Osservazioni sopra dipinti per rilevare alterazioni nella funzione visiva degli artisti* Modena 1889.

4846. Deeren. *Quelques aperçus sur les meilleurs moyens à prendre pour dresser une échelle chromatique.* Rec. d'Ophthalm. S. 585—597.

847. E. Dreher. *Neue Farbenphänomene, ihre Erklärung und Bedeutung für unsere heutige Theorie der Farbenwahrnehmung.* Naturwiss. Wochenschr. Bd. IV. S. 260—262.

848. A. Favre. *Notes pathologiques sur la fausse appréciation des couleurs.* Lyon. méd. Bd. 62. No. 41. 44. 45. 46. 47.

849. F. W. Edridge-Green. *Colour-blindness and colour-perception.* Ophthalm. Rev. April. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 172. — Arch. f. Augenheilkde. XXI. (1.) S. 119.

850. — *The detection of colour-blindness.* Brit. med. Journ. II. S. 1036.

851. Ch. Henry. *Sur un cercle chromatique, un rapporteur et un décimètre esthétique.* Compt. Rend. CVIII. S. 169.

852. — *Cercle chromatique, présentant tous les compléments et toutes les harmonies de couleurs, avec une introduction sur la théorie générale de la dynamogénie, autrement dit du contraste, du rhythme et de la mesure.* Paris.

853. F. Hillebrand. *Ueber die specifische Helligkeit der Farben. Beiträge zur Psychologie der Gesichtsempfindungen mit Vormerkungen von E. Hering.* Sitzgs.-Ber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Math.-naturwiss. Kl. XCVIII. 3. Abth. S. 70—122.

854. A. Hodgkinson. *Colour and its relation to the structure of coloured bodies.* Mem. and Proc. Manchester. literar. and philos. 4 ser. S. 198.

855. — *On the physiological phenomena of colour sensation.* Mem. a. Proc. Manchester Literar. a. Philos. Soc. (4.) II. S. 215.

856. M. Knies. *Ueber Farbensinnstörung bei Sehnervenleiden.* Ber. über d. XX. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 7—11.

57. A. P. Laurie. *On Artist's Colours.* Rep. Brit. Assoc. Newcastle-upon-Thyne. S. 541.

58. C. Lucanus. *Ueber die Schwäche des Farbensinnes.* Arch. f. Augenheilkde. XXI. (1.) S. 41—50.

59. J. Spiller. *An experiment in colour-blindness.* Rep. of the Brit. Assoc. for 1889. S. 518. — Photogr. News. 20. Septbr.

60. A. Stevens. *Color-blindness.* Science. XIII. S. 39.

61. H. Würdemann. *Color perception.* Amer. Journ. of Ophthalm. S. 163.

62. *Color-blindness.* Science. XIII. S. 91.

63. *Colour-blindness and defective far-sight among the seamen of the mercantile marine.* Nature. S. 438.

1890.

64. A. Bergh. *Der Farbensinn nebst angeborener und erworbener Farbenblindheit.* Stockholm.

65. Berry. *A suggestion as to the function of some of the retinal elements.* Ophthalm. Rev. Mai. S. 135.

4866. Berry. *Critical remarks on the theories of fundamental colour sensations.* Ophthalm. Hosp. Rep. XIII. (1.)
4867. Bickerton. *Colour-blindness. A criticism of the Board of Trade tests.* Brit. med. Journ. 8. März. No. 1523.
4868. R. Brudenell Carter. *Colour-Vision and Colour-Blindness. Lecture delivered at the Royal Institution.* Nature. 15. Mai. S. 55—61.
4869. E. Canestrini. *Esperienze di ottica fisiologica.* Atti della Soc. Ven. Trentina di Scienze Naturali. XI.
4870. J. Lardner Green. *On colour-blindness.* Brit. med. Journ. 1. Febr.
4871. Ch. Henry. *La lumière, la couleur et la forme.* Rev. Sc. XLVI. No. 10 u. 12.
4872. E. Hering. *Die Untersuchung einseitiger Störungen des Farbensinnes mittelst binocularer Farbengleichungen.* v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. 3. Abth. S. 1—23.
4873. — *Prüfung der sogenannten Farbendreiecke mit Hülfe des Farbensinnes excentrischer Netzhautstellen.* Pflüger's Arch. XLVII. S. 417—438.
4874. C. Hess. *Ueber die Tonänderungen der Spectralfarben durch Ermüdung der Netzhaut mit homogenem Lichte.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. Abth. 1. S. 1—32.
4875. F. Kreyssig. *Ueber perverse Lichtempfindung.* Mitth. a. d. ophthalm. Klin. in Tübingen. II. S. 329.
4876. C. Kroman. *Sur le système de nos sensations des couleurs.* Overs. K. Dansk. Vid. Sels. Forh. S. 295—310.
4877. G. Mackay. *Colour-blindness.* Brit. med. Journ. No. 1562. S. 1251.
4878. — *Colour-blindness and defective sight in relation to public duty.* Brit. med. Journ. No. 1568. S. 123.
4879. C. A. Oliver. *Another theory of defective colour-vision (colour-blindness).* Edinb. med. Journ. XXXVI. S. 325.
4880. M. Reich. *Zur Pathologie der Farbenempfindung.* (Russisch) Sitzgs.-Ber. d. Kaukas. med. Ges. XXVII. No. 13.
4881. A. Schuster. *Experiments with Lord Rayleigh's Colour Box.* Proc. of the Roy. Soc. XLVIII. No. 293. S. 140—149.
4882. O. Sommerville. *Another theory of defective colour vision (colour-blindness).* Edinb. med. Journn. No. 424. S. 325.
4883. G. L. Swanston. *Colour-blindness amongst seamen.* Lancet. II. S. 1111.
4884. J. L. Thompson. *The abuse of alcohol and tobacco a cause of aquired colour-blindness.* Kausas City med. Record. August.
4885. H. W. Vogel. *Ueber Farbenwahrnehmungen.* Verh. d. physik. Ges. zu Berlin. Jahrg. 9. No. 1.

1891.

4886. W. de W. Abney. *On the examination for colour of cases of tobacco scotoma, and of abnormal colour-blindness.* Proc. of the Roy. Soc. XLIX. S. 491—509.
4887. — *The numerical registration of colour.* Preliminary Note. Proc. of the Roy. Soc. XLIX. S. 227—233.
4888. — *Colour Measurement and Mixture.* London. Soc. for promoting Christian Knowledge.
4889. A. Charpentier. *Phénomènes de coloration apparente observés sous l'influence d'excitations lumineuses instantanées.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. (26.) S. 596—599.
4890. — *Remarques et expériences au sujet de la coloration entoptique des lumières blanches instantanées.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. (26.) S. 601—604.
4891. F. W. Edridge-Green. *Colour-blindness and colour-perception.* Brit. med. Journ. No. 1617. S. 1356.
4892. H. v. Helmholtz. *Kürzeste Linien im Farbensystem.* Berl. Sitzgs.-Ber. 17. Dec. S. 1071—1083. — Zeitschr. f. Psychol. III. S. 118—122.
4893. — *Versuch, das psychophysische Gesetz auf die Farbenunterschiede trichromatischer Augen anzuwenden.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 1—20.
4894. E. Hering. *Untersuchung eines total Farbenblinden.* Pflüger's Arch. Bd. 49. S. 563—609.
4895. E. Lommel. *Berechnung von Mischfarben.* Abh. d. k. bayr. Akad. d. Wiss. München. Franz. 25 S. — Wied. Ann. Bd. 43. S. 473—497.
4896. M. Sachs. *Ueber die specifische Lichtabsorption des gelben Fleckes der Netzhaut.* Pflüger's Arch. Bd. 50. S. 574—587.

1892.

4897. W. de W. Abney and E. R. Festing. *Colour Photometry.* London, Phil. Transact. Vol. 183. S. 531—565.

4898. A. Angelucci. *L'occhio et la Pittura.* Diss. inaug.

4899. Bickerton. *On colour-blindness.* London, Macmillan.

4900. A. Chauveau. *Couleurs fondamentales.* Acad. des Scien. 21./28. Novbr.

4901. Galezowski. *De l'hémianopsie chromatique dans une amblyopie nerveuse.* Rec. d'ophthalm. No. 10. S. 576.

4902. Guaita. *Prüfung der Gemälde von Beccafumi mit Rücksicht auf die Farbenempfindung des Malers.* XIII. Congr. d. ital. ophthalm. Ges. in Palermo. April.

4903. A. König u. C. Dieterici. *Die Grundempfindungen in normalen und anomalen Farbensystemen und ihre Intensitätsvertheilung im Spectrum.* Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 241—347. Auch sep. Hamburg, L. Voss. 107 S.

4904. W. Pole. *Some unpublished data on colour-blindness.* Philos. Mag. (5.) 34. S. 100—114.

4905. — *Further data on colour-blindness. II.* Philos. Mag. (5.) 34. S. 439—443.

4906. O. N. Rood. *On a colour System.* Americ. Journ. of science. XLIV. S. 263—270.

4907. Rutherford. *On colour sense.* Proc. of the Roy. Soc. of Edinb.

1893.

4908. W. de W. Abney. *The sensitiveness of the eye to light and colour.* Nature. XLVII. S. 538—542.

4909. W. Baily. *Notes on the construction of a colour map.* Philos. Mag. (5.) XXXV. S. 46—47.

4910. E. Brodhun. *Die Gültigkeit des Newton'schen Farbenmischungsgesetzes bei dem sog. grünblinden Farbensystem.* Zeitschr. f. Psychol. V. S. 323—334.

4911. de Dantec. *De la sensibilité colorée.* Soc. d'anat. et de physiol. de Bordeaux. 26. Juni. — Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (9.) V. S. 718—722.

4912. C. Ladd-Franklin. *On theories of light-sensation.* Mind. (N. S.) II. No. 8. S. 473—490.

4913. P. Glan. *Zum Grundgesetz der Complementärfarben.* Wiedemann's Ann. f. Phys. u. Chem. Bd. 48. S. 307—327.

4914. J. B. Haycraft. *A new Hypothesis concerning Vision.* Proceed. of the Roy. Soc. LIII. No. 322. S. 78. LIV. No. 327. S. 272—274.

4915. E. Hering. *Ueber den Einfluſs der Macula lutea auf spectrale Farbengleichungen.* Pflüger's Arch. Bd. 54. S. 277—312.

4916. J. W. Lovibond. *Measurement of light and colour sensations.* George Gill & Sons, London.

4917. W. Pole. *Further data on colour-blindness. III.* Philos. Mag. Jan. S. 52—62.

4918. — *Further data on colour-blindness. IV.* Philos. Mag. XXXVI. No. 219. S. 188—195.

4919. — *Data on the phenomena of colour-blindness, chiefly derived from foreign sources.* Proc. of the Roy. Soc. of Edinb. 16. Jan. XX. S. 103—140.

4920. — *On the present state of knowledge and opinion in regard to colour-blindness.* Transact. of the Roy. Soc. of Edinb. XXXVII. (2.) No. 22. S. 441—479.

1894.

4921. A. Angelucci. *La funzione visiva dei vecchi e i suoi effetti sull' impiego del colore in pittura.* Arch. di Ottalm. II. S. 3 u. 69.

4922. R. B. Carter. *The quantitative determination of colour vision.* The Lancet. No. 3681. S. 665.

4923. Cognacq. *De la sensibilité colorée.* Thèse de Bordeaux. 1893—1894.

4924. Dufour. *A propos de la théorie de la vision des couleurs.* Ann. d'ocul. CXI. S. 350—371.

4925. E. Hering. *Ueber angebliche Blaublindheit der Fovea centralis.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 59. S. 403—414.

4926. R. Hilbert. *Die individuellen Verschiedenheiten des Farbensinnes zwischen den Augen eines Beobachters.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 57. S. 61—64.

4927. A. König. *Ueber den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen.* Sitzgs.-Ber. d. Acad. d. Wiss. zu Berlin. S. 577—598.

4928. W. Nicati. *Esthésiométrie et photométrie oxyopiques.* Arch. d'Ophthalm. XIV. (5.) S. 297—302.

4929. E. Tonn. *Ueber die Gültigkeit von Newton's Farbenmischungsgesetz.* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 279—304.
4930. J. Wallace. *The physical and physiological basis of colour.* Univ. med. Mag.
4931. Th. Young. *Oeuvres ophthalmologiques.* Ins Französische übersetzt und mit Noten versehen von M. Tscherning. Kopenhagen, Höst u. Sön. 248 S.

c) Neuere Theorien der Farbenempfindung.

1867.

4932. W. Zenker. *Versuch einer Theorie der Farbenperception.* Arch. f. mikrosk. Anat. III. S. 249—261.

1870.

4933. J. Czermak. *Schopenhauer's Theorie der Farbe.* Wien. Acad. Ber. Bd. 62. S. 393—411.
4934. A. Schopenhauer. *Ueber das Sehen und die Farben.* 3. Aufl. Herausg. v. Frauenstädt. Leipzig.

1875.

4935. A. M. Mayer. *The history of Young's Discovery of his Theory of Colors.* Americ. Journ. of Sc. a. Arts. (3 Ser.) IX. No. 52. S. 251—267.

1876.

4936. Alix. *Sur la théorie de la vision.* Inst. S. 116.
4937. L. Happe. *Ueber den physiologischen Entwickelungsgang der Lehre von den Farben.* Ber. d. Aerztekammer v. Braunschweig.

1879.

4938. Rosenthal. *Théorie des Couleurs.* Rev. Scientif. (2.) IX. No. 14. S. 316—322. Deutsch in der Deutschen Revue. December.

1880.

4939. W. Krenchel. *Ueber die Hypothesen von Grundfarben.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (1.) S. 91.

1881.

4940. F. Boll. *Thesen und Hypothesen zur Licht- und Farbenempfindung.* Mit einer Vorbemerkung von H. Helmholtz. Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. S. 1—38.
4941. W. Preyer. *Ueber den Farben- und Temperatursinn mit besonderer Rücksicht auf Farbenblindheit.* Pflüger's Arch. Bd. 25. S. 31—100. — Sep. Bonn.

1882.

4942. E. Landolt. *Théorie de la perception des couleurs.* Arch. d'Ophthalm. II. S. 79.
4943. J. Soury. *Nouvelles théories scientifiques du sens des couleurs Hering, Preyer, Charpentier.* Rev. Scientif. Paris. XXX. S. 132.
4944. — *Philosophie naturelle. Le sens des couleurs.* Paris. Cap. VI.

1884.

4945. A. Angelucci. *Una nuova teoria sulla visione.* Communic. preventiva presentata all'Acad. med. di Roma. 14. Juli.
4946. C. A. Oliver. *A correlation theory of Color-perception.* Philadelphia med. Times 1883—1884. XIV. S. 715.

1885.

4947. Gradenigo. *Eine neue Theorie über den Sehact.* Allg. Wien. med. Zeitg. No. 12 S. 131.
4948. C. A. Oliver. *A correlation theory of Color-perception.* Americ. Journ. of med Sc. Philadelphia. Bd. 89. S. 98—127, 462—482.
4949. H. Parinaud. *Influence inégale de l'adaptation rétinienne sur les lumières de réfrangibilité différente; la sensibilité dans la macula et les parties periphériques; rôle du pourpre visuel.* Bull. et mém. Soc. franç. d'ophthalm. III. S. 329.

1886.

4950. A. Angelucci *Una nuova theoria sulla visione. Terza communicazione preventiva* Cagliare.
4951. — *Une nouvelle théorie de la vision.* Rec. d'ophthalm. S. 34.
4952. S. M. Burnett. *The new theory of color-perception.* Americ. journ. of ophthalm. Vol. III. S. 278—280.

1887.

1953. Gradenigo. *Sulla teoria di Angelucci.* Ann. di Ottalm. S. 450.

1888.

1954. A. Goeller. *Die Analyse der Lichtwellen durch das Auge.* Du Bois' Arch. f. Physiol. S. 139—162.

1955. G. Norrie. *Dr. Waldemar Krenchel's mechanische teori for lysfornemmelsen. (K.'s mechanische Theorie der Lichtempfindung.)* Ugeskrift f. läger. (4). XVIII. No. 19, 20 u. 21.

1956. W. Wundt. *Die Empfindung des Lichtes und der Farben.* Philos. Stud. IV. S. 312 bis 389.

1889.

957. Ch. V. Burton. *Versuche über Farbenwahrnehmung und über eine photoelektrische Theorie des Sehens.* Proc. of the Cambridge Phil. Soc. VI. S. 308.

958. G. Norrie. *Waldemar Krenchel's Grundzüge einer mechanischen Theorie der Lichtempfindung.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XIII. S. 145—159.

959. Preobraschensky. *Hypothese des Farbensehens.* Journ. russ. phys.-chem. Ges. XXI. Phys. Teil. S. 248—259. — Journ. de Phys. (2.) IX. S. 538. (1890.)

1890.

960. F. W. Edridge-Green. *A new theory of colour-blindness and colour-perception.* Proc. of the roy. soc. XLVII. S. 176.

1891.

961. R. E. Liesegang. *Theorien der Farbenempfindung.* Phot. Arch. April.

1892.

962. Chr. Ladd-Feanklin. *Eine neue Theorie der Lichtempfindungen.* Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 211—221.

1893.

963. H. Ebbinghaus. *Theorie des Farbensehens.* Zeitschr. f. Psychol. V. S. 145—238. Auch sep.. Hamburg, L. Voss. 94 S.

1894.

964. C. Ladd Franklin. *Prof. Ebbinghaus' theory of colour vision.* Mind. (N. S.) III No. 9. S. 98—105.

965. J. v. Kries. *Ueber den Einflufs der Adaptation auf Licht- und Farbenempfindung und über die Function der Stäbchen.* Ber. d. naturf. Ges. zu Freiburg i. B. IX. (2.) S. 61—70. — Freiburg i. B., Mohr. 14 S.

966. W. Nicati. *Principes de chroologie ou synthèse physiologique de la couleur.* Compt. Rend. de l'Acad. des Sienc. Bd. 119. S. 917—919.

967. H. Parinaud. *La sensibilité de l'oeil aux couleurs spectrales; fonctions des élements rétiniens et du pourpre visuel.* Ann. d'ocul. Bd. 112. (4.) S. 228.

968. D. Turner. *A theory of electrical vision.* The Lancet. No. 3722. S 1535.

d) Peripheres Farbensehen.

1870.

69. J. Cl. Maxwell. *On colour vision at different points of the retina.* Engineer. XXX. S. 268. Rep. Brit. Assoc. XL. Liverpool 40.

70. M. Woinow. *Zur Farbenempfindung.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 212.

1872.

71. E. Rählmann. *Ueber Farbenempfindung in den peripherischen Netzhautpartien in Bezug auf normale und pathologische Brechungszustände.* Halle. Inaug.-Diss.

1873.

72. A. Fick. *Zur Theorie der Farbenblindheit.* Verh. d. physik.-med. Ges. zu Würzburg. N. F. V. S. 129.

73. E. Landolt. *Farbenperception der Netzhautperipherie.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XI. S. 376—377.

1874.

74. Krükow. *Objective Farbenempfindungen auf den peripherischen Theilen der Netzhaut.* Arch. f. Ophthalm. XX. (1.) S. 255. — Moskauer ärztl. Anz. No. 15 u. 16.

75. E. Landolt. *De la perception des couleurs à la periphérie de la rétine.* Ann. d'Ocul. S. 1.

4976. E. Rählmann. *Ueber Verhältnisse der Farbenempfindung bei indirectem und directen Sehen.* Arch. f. Ophthalm. XX. (1.) S. 15.

1875.

4977. A. Chodin. *Zur Lehre von den Farbenempfindungen auf der Peripherie der Netzhau* Petersb. med. Anz. No. 10—13.

4978. Klug. *Ueber Farbenempfindung bei indirectem Sehen.* Arch. f. Ophthalm. XXI. (1 S. 251—295.

4979. Treitel. *Prüfung des Gesichtsfeldes mit Pigmentfarben.* Diss. Königsberg.

4980. — *Ueber das Verhalten der peripheren und centralen Farbenperception bei Atrophi nervi optici.* Inaug.-Diss. Königsberg.

1877.

4981. A. Charpentier. *De la vision avec les différentes parties de la rétine.* Arch. d physiol. No. 6.

4982. A. Chodin. *Ueber die Empfindlichkeit für Farben in der Peripherie der Netzhau* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (3.) S. 177—208.

1878.

4983. E. Landolt u. A. Charpentier. *Des sensations de lumière et de couleurs dans vision directe et dans la vision indirecte.* Compt. Rend. Bd. 86. S. 495—497. — Ga méd. de Paris. No. 10. S. 120.

1879.

4984. Treitel. *Ueber den Werth der Gesichtsfeldmessung mit Pigmenten für die Au fassung der Krankheiten des nervösen Sehapparats.* Graefe's Arch. f. Ophthaln XXV. (2.)

1881.

4985. R. Butz. *Vorläufige Mittheilungen über Untersuchungen der physiologischen Funktion der Peripherie der Netzhaut.* Arch. f. (Anat. u.) Physiol. S. 437—445.

4986. J. Macé de Lépinay und W. Nicati. *Contribution à l'étude du champ visu des couleurs.* Arch. d'ophthalm. I. No. 6 u. 7. S. 437 u. 506.

1883.

4987. R. Butz. *Untersuchungen über die physiologischen Funktionen der Peripherie d Netzhaut.* Dissert. Dorpat.

1884.

4988. W. Dobrowolsky. *Ueber den Unterschied in der Farbenempfindung bei Reizung d Netzhaut an einer und an mehreren Stellen zu gleicher Zeit.* Pflüger's Arch. f. d. ge Physiol. XXXV. S. 537—541. St. Peterburger med. Wochenschr. S. 398.

1885.

4989. A. Charpentier. *La perception lumineuse est-elle la même sur toute l'étendue de rétine?* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. II. S. 333.

1886.

4990. Albini. *Della visione indiretta delle forme e dei colori.* Giorn. della R. Acc di Med. No. 7—8.

1887.

4991. Albini. *Sulla visione indiretta delle forme e dei colori.* Ann. di Ottalm. XV. S. 48

1888.

4992. A. E. Fick. *Studien über Licht- und Farbenempfindung.* Pflüger's Arch. f. d. g Physiol. XLIII. S. 441.

1889.

4993. V. Basevi. *Sulla sensibilità della periferia della retina per la luce e per i colori occhi normali ed in alcuni casi patologici.* Ann. d'Ottalm. XVIII. S. 41. — Arch. Augenheilkde. XXI. (1.) S. 119.

4994. E. Hering. *Ueber die Hypothesen zur Erklärung der peripheren Farbenblindh* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (4.) S. 63—83.

4995. C. Hess. *Ueber den Farbensinn bei indirectem Sehen.* Graefe's Arch. f. Ophthal XXXV. (4.) S. 1—62. — Ber. über d. XX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelbe S. 24.

1890.

4996. A. Fick. *Zur Theorie des Farbensinnes bei indirectem Sehen.* Pflüger's Arch. f. ges. Physiol. XLVII. S. 274—285.

4997. E. Hering. *Berichtigung zur Abhandlung über periphere Farbenblindheit.* Graef Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (1.) S. 264.

4998. E. Hering. *Prüfung der sogenannten Farbendreiecke mit Hülfe des Farbensinnes excentrischer Netzhautstellen.* Pflüger's Arch. XLVII. S. 417—438.

1892.

4999. E. Hegg. *Zur Farbenperimetrie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVIII. S. 145 bis 168. Diss. Bern.

1893.

5000. O. Bull. *Sur la périmétrie au moyen de pigments colorés.* Ann. d'Ocul. CX. S. 169.

5001. E. Hegg. *La périmétrie des couleurs.* Ann. d'Ocul. CIX. S. 321.

5002. A. Kirschmann. *Die Farbenempfindung im indirecten Sehen.* Erste Mittheilung. Philos. Stud. VIII. S. 592—614.

1894.

5003. Ole Bull. *Sur la périmétrie au moyen des pigments colorés.* Ann. d'Ocul. CXI. S. 284.

5004. A. Drott. *Die Aufsengrenzen des Gesichtsfeldes für weifse und farbige Objecte bei normalem Auge.* Diss. Breslau. 32 S.

5005. E. Hegg. *Sur la périmétrie au moyen de pigments colorés.* Ann. d'Ocul. CXI. S. 122.

e) Methoden, Apparate, Farbenproben u. s. w. zur Untersuchung des Farbensinnes.

Betreffs der Untersuchung mit dem Farbenkreisel ist auch die Litteratur in § 22 zu beachten.

1865.

5006. E. Rose. *Ueber die einfachsten Untersuchungsmethoden Farbenkranker.* Berl. klin. Wochenschr. No. 31.

1870.

5007. E. Ketteler. *Analytisch-synthetischer Mischfarbenapparat.* Pogg. Ann. Bd. 141. S. 604—607.

1874.

5008. Fr. Holmgren. *Methoden zum schnellen Diagnosticieren der verschiedenen Arten von Farbenblindheit.* Upsala Läkaref. Förh. IX. S. 577—578.

5009. Jeaffreson. *Photoperimeter.* Ann. d'Ocul. LXXII. 11. Ser. (2.) S. 115.

5010. H. Snellen u. E. Landolt. *Die Functionsprüfungen des Auges.* Gräfe-Sämisch' Handb. d. ges. Augenhlkde. Bd. III. Cap. I.

1876.

5011. W. v. Bezold. *Der Farbenmischer.* Catalogue of the Spec. Loan Coll. of Scient. Apparatus. London. I. S. 139. No. 972.

1877.

5012. Rosenstiehl. *De l'emploi des disques rotatifs pour l'étude de sensations colorées.* Compt. Rend. Bd. 84. S. 1133—1136.

1878.

5013. H. Cohn. *Gestickte Buchstaben zur Diagnose der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 77—78.

5014. — *Ueber die spectroscopische Untersuchung Farbenblinder.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 264—266 u. 288.

5015. — *Der Simultan-Contrast zur Diagnose der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 35—36.

5016. A. Daae. *Lidt om Undersögelse af Farvesandsen. (Anleitung zur Untersuchung Farbenblinder.)* Norsk. Mag. f. Lägevid. 3 R. VII. S. 450—455. VIII. S. 81.

5017. — *Farbenblindheit und Entdeckung von Farbenblinden.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 10—11.

5018. — *Die Farbenblindheit und deren Erkennung.* Uebers. v. M. Sänger. Berlin, Dörffel & Hirschwald.

5019. H. Dor. *Echelle pour mésurer l'acuité de la vision chromatique.* Paris, Masson. 16 S. Basel-Lyon, Georg. — Ber. üb. d. Vers. d. Heidelb. ophthalm. Ges. S. 188.

5020. J. Hirrlinger. *Prüfungs- und Uebungstafeln zur Untersuchung des Farbensinnes.* Stuttgart, Moser.

5021. J. Hirschberg. *Das Doppelspectroscop zur Analyse der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 248.

5022. F. Holmgren. *An die Ärzte Schwedens betreffs der Farbenblindheit.* Upsala Läkare Förh. XIV. S. 60—72.
5023. E. Landolt. *Chromatomètre.* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. No. 22.
5024. H. Magnus. *Zur spectroscopischen Untersuchung Farbenblinder.* Centralbl. f. prak Augenheilkde. II. S. 80—81, 233—235 u. 287.
5025. E. Pflüger. *Ueber Prüfung des Farbensinnes.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 5
5026. J. Stilling. *Tafeln zur Bestimmung der Roth-Grünblindheit.* Leipzig.
5027. — *Tafeln zur Bestimmung der Blau-Gelbblindheit.* Cassel, Fischer.

1879.

5028. Aneshäusel. *Zur Erkennung der Farbenblindheit.* Aerztl. Mitth. aus Bade XXXIII. (11.)
5029. E. Brabock. *Échelle de couleurs publié par la Soc. sténochromique de Pari* Anthrop. Inst. London. IX. S. 19—22.
5030. A. Daae. *Pseudo-isochromatische Proben zur Untersuchung des Farbensinnes.* Nors Mag. 3 R. IX. 10 Forh.
5031. F. C. Donders. *Ueber pseudo-isochromatische Muster zur Prüfung der Farbenblindhe* Ber. d. XII. Vers. d. ophthalm. Ges. — Klin. Monatsbl. f. Augenhlkde. XVII. S. 17
5032. J. Hirschberg. *Ueber eine Modification des Spectroscops zur Prüfung der Farbe blinden.* Physiol. Ges. zu Berlin. 17. Jan. — Dtsch. med. Wochenschr. No. 3 Arch. f. Augenheilkde. IX. S. 116.
5033. — *Das Doppelspectroscop zur Analyse der Farbenblindheit.* Centralbl. f. Auge heilkde. III. 55—56.
5034. F. Holmgren. *Apparat för diagnos af färgblindhetens arter.* Upsala Läkar Förh. XIV. S. 91
5035. — *Meddelande om spektroskopiska undersökningar af färgsinnet.* Upsala Läkar Förh. XIV. S. 307.
5036. Moeller. *Etude critique des méthodes d'explorations pour les recherches des daltonie dans le personel des chemins de fer.* Bull. de l'Acad. de Belg. XIII. (2.) S. 283—33
5037. Nikitin. *Zur Frage der quantitativen Bestimmung des Farbensinnes.* Inaug. Di Petersburg.
5038. Pflüger. *Methoden zur Untersuchung der Farbenblindheit.* Corresp.-Bl. f. Schwei Aerzte. IX.
5039. J. Stilling. *Tafeln zur Bestimmung der herabgesetzten Farbenempfindlichkeit f Roth-Grün, sowie zur Entdeckung der Simulation der Farbenblindheit.* Leipzig.

1880.

5040. Galezowski. *Mesure de la puissance chromatique de l'oeil; Chromatoscope.* Ga méd. de Paris. No. 26. S. 340. Gaz. hebd. No. 26. S. 420.
5041. — *Échelles portatives des caractères et des couleurs pour mesurer l'acuité visuel* Paris, Bailliere et fis.
5042. M. Grossmann. *Ueber die Messung der Schärfe des Farbensinnes.* Greifswald. Di 39 S. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IV. S. 298.
5043. J. F. Head. *Tests for color-blindness.* Med. Record. S. 496. May 1.
5044. Maréchal *Appareil pour la détermination de l'acuité visuelle et de la vision c couleurs.* Compt. Rend. du 6. congr. périod. intern. d'ophthalm. à Milan. 18 S. 244.
5045. J. Jeffries. *Colour-blindness, its Examination and Providence.* Lancet. II. (1.) S. 7—
5046. Pflüger. *Chromatoptometer.* Ann. di Ottalm. IX. S. 397.
5047. — *Tafeln zur Bestimmung der Farbenblindheit.* Bern, Dalp.
5048. W. Thomson. *An instrument for the detection of color-blindness.* Transact. of t Americ. Ophthalm. Soc.
5049. Wood. *Ophthalmic Test-Types and Color-Blindness-Tests.* New-York, Wood u. Co

1881.

5050. Badal. *Echiquier pour l'examen de la vision des couleurs.* Le Sud-Ouest mé Januar.
5051. O. Bull. *A new method of examining and numerically expressing the colour perceptu* Transact. of the internat. med. Congr. London. III. S. 49.
5052. — *Nouvelle méthode pour l'examen et l'expression numérique du sens chromatiq* Intern. med. Soc. — Ann. d'Ocul. July u. Aug. S. 71.
5053. H. Cohn. *Neue Prüfung des Farbensinnes mit pseudo-isochromatischen Tafe* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 372—378.

5054. H. Cohn. *Ueber die schnellste, einfachste und zuverlässigste Methode zur Entdeckung der Farbenblindheit.* Berl. klin. Wochenschr. No. 19. Bresl. ärztl. Zeitschr. III. S. 200.
5055. F. C. Donders. *Over spectroscopen en spectroscopisch onderzoek, tot bepaling van den kleurzin.* K. Acad. van Wetensch. 26. Febr. 3 S.
5056. — *Ueber Spectroscope und spectroscopische Untersuchungen zur Bestimmung des Farbensinnes.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. Mai.
5057. P. Glan. *Ophthalmospectroskop.* Ber. üb. d. wiss. Instr. a. d. Berl. Ausstellung im Jahre 1879. S. 304.
5058. — *Ueber Apparate zur Untersuchung der Farbenempfindungen.* Pflüger's Arch. Bd. 24. S. 307—328.
5059. G. de Grandmont. *Sur un procédé expérimental pour la détermination de la sensibilité de la rétine aux impressions lumineuses colorées.* Compt. Rend. Bd. 92. S. 1189.
5060. F. Holmgren. *Underrättelse angående ensidig färgblindhet.* Upsala Läkaref. Förh. XVI. S. 308.
5061. Keersmaecker. *Diagnostic du daltonisme par la méthode dite des laines colorées.* Rev. d'ocul. du sud-ouest. 5. S. 97.
5062. B. Kolbe. *Farben-Sättigungstafeln zur graduellen Abschätzung der Farbenblindheit.* Mit dtsch.-russ.-franz. Text. Petersburg, Kranz. Leipzig, Steinacker.
5063. — *Ueber die zweckmäfsigsten Methoden zur Massenprüfung des Farbensinnes.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 368—372.
5064. — *Beschreibung eines Farbenmessers zur numerischen Bestimmung von Pigmentfarben und zur graduellen Abschätzung der Farbenblindheit.* St. Petersb. med. Wochenschr. No. 18. S. 154.
5065. J. Maréchal. *Un appareil pour l'appréciation de l'acuité chromatique dans un examen sommaire du personnel de la marine et des chemins de fer.* Transact. internat. med. Congr. 7. sess. London. III. S. 126.
5066. L. Mauthner. *Ueber farbige Schatten, Farbenproben und erworbene Erythrochloropie.* Wien. med. Wochenschr. No. 38/39.
5067. Ch. A. Oliver. *Description of a color-sense measure.* Arch. of Ophthalm. X. No. 4.
5068. E. Pflüger. *Zur Diagnose der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 206.
5069. Schenkl. *Die Behelfe zur Diagnose der Roth-Grünblindheit.* Prag. med. Wochenschr. No. 19, 27 u. 48.
5070. A. Rosenstiehl. *Détermination des sensations colorées fondamentales par l'étude de la répartition des couleurs complémentaires dans le cercle chromatique.* Compt. Rend. Bd. 92. S. 357—360.
5071. R. Rothe. *Farbenkreisel nebst Musterkarte der farbigen Papierscheiben zu Gleichungen.* Prag. — Ann. d'Oculist. Bd. 85. S. 181.

1882.

5072. O. Bull. *Chromatoptometrische Tabelle.* Christiania, Aschehong.
5073. A. Geissler. *Die Farbenblindheit, ihre Prüfungsmethoden und ihre practische Bedeutung.* Leipzig.
5074. A. Handl. *Ein optisches Experiment.* Carl's Repert. XVIII. S. 307.
5075. H. Helmholtz. *Bemerkungen zum Leukoskop.* Verh. d. Berl. physik. Ges. No. 2. S. 5—6.
5076. A. König. *Ueber das Leukoskop.* Verh. d. Berl. physik. Ges. No. 2. S. 1—5.
5077. J. Maréchal. *Appareil pour explorer la vision des couleurs.* Brest.
5078. C. A. Oliver. *Beschreibung eines Farbensinnmessers.* Arch. f. Augenheilkde. XII. S. 91.
5079. E. Pflüger. *Methode zur Prüfung des Farbensinnes mit Hülfe des Flor-Contrastes.* 2. Aufl. Bern, Dalp.
5080. Rosenstiehl. *De l'emploi des disques tournantes pour l'étude des sensations colorées.* Compt. Rend. No. 21.
5081. J. Stilling. *Pseudo-isochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbensinnes.* Cassel, Fischer.

1883.

5082. X. Galezowski. *Échelles optométriques et chromatiques pour mesurer l'acuité de la vision, les limites du champ visuel et la faculté chromatique.* Paris.
5083. F. Holmgren. *Ueber die beste Art, die einseitige Farbenblindheit zu entdecken.* Upsala Läkaref. Förh. XVIII. S. 533—539.

76*

5084. A. König. *Das Leukoskop und einige mit demselben gemachten Beobachtunge.* Wiedemann's Ann. XVII. S. 990—1008. — Zeitschr. f. Instrumentenkde. II S. 20—26.
5085. B. Kolbe. *Beitrag zur qualitativen und quantitativen Prüfung des Farbensinn vermittelst der Pigmentfarben.* Arch. f. Augenhlkde. XIII. S. 53. — Petersb. me Wochenschr. VIII. S. 66.
5086. Pflüger. *Neue Methode zur quantitativen Bestimmung des Licht- und Farbensinne* Ber. d. ophthalm. Ges. Heidelberg. S. 189.
5087. J. Pithiot. *Apparat zur Auffindung und Bestimmung von Farbennuancen, welc sich aus der Zusammensetzung einfacher Farben ergeben.* Zeitschr. f. Instrumentenkd IV. S. 73.
5088. Ribirio dos Santons. *Chromatoscope.* Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 190.
5089. Szili. *Pflüger's Untersuchungsmethode zur Erkennung der Farbenblindheit.* Centralb f. prakt. Augenheilkde. S. 234. — Szemeszet. No. 5.

1884.

5090. A. Charpentier. *Nouveau modèle d'instrument destiné à l'examen clinique de sensibilité lumineuse et de la perception des couleurs.* Arch. d'Ophthalm. S. 210.
5091. R. Hilbert. *Eine neue Methode, Farben zu mischen.* Humboldt. III. Heft 7.
5092. — *Ein neues und bequemes Mittel zur Diagnose der Farbenblindheit.* Arch. f. Auge heilkde. XIII. (4.) S. 383.
5093. H. H. Hoffert. *A new Apparatus for Colour-Combinations.* Philos. Mag. (5.) XVI S. 81—85.
5094. A. König. *Ueber einen neuen Apparat zur Diagnose der Farbenblindheit.* Centrall f. prakt. Augenheilkde. VIII. Dezember. — Verhandl. d. physik. Ges. z. Berlin. 24. Ol
5095. M. E. Miéville. *Nouvelle méthode de détermination quantitative du sens lumine et chromatique.* Arch. d'Ophthalm. IV. S. 113 u. 423.
5096. H. Parinaud. *Nouveau modèle de photoptomètre, d'astigmomètre et d'ophthalmoscope refraction.* Bull. de la soc. franç. d'ophthalm. S. 191.
5097. H. Parinaud u. J. Duboscq. *Appareil destiné à l'étude des intensités lumineuses chromatiques des couleurs spectrales et de leurs mélanges.* Journ. de Phys. (2.) I S. 271—273.

1885.

5098. J. Aitken. *Chromomictors.* Proc. Edinb. XIII. S. 122—130.
5099. A. Charpentier. *Méthode pour l'étude de la perception des diminutions de clar et nouvel appareil pour la photoptométrie et le mélange des couleurs.* Arch. d'Ophthal S. 734.
5100. Chibret. *Chromatoscope.* Arch. d'Ophthalm. V. S. 1881.
5101. Colardeau, Izarn et Chibret. *De l'application de la polarisation chromatique à détermination rapide et quantitative de l'acuité chromatique dans la région de macula.* Bull. et mém. soc. franç. d'ophthalm. III. S. 316.
5102. D. Kitao. *Leukoskop, seine Anwendung und seine Theorie.* Abh. d. Tokio Daigak No. 12. 102 S. Tokio.
5103. Ch. Oliver. *A description of some modifications in a color-sense measure.* Transa of the americ. ophthalm. soc. XXI. Vers. S. 110.
5104. H. Parinaud. *Appareil pour l'étude des couleurs spectrals.* Bull. et mém. soc. fra d'ophthalm. III. S. 327.
5105. — *Photoptomètre.* Arch. d'Ophthalm. V. S. 182.
5106. L. Wolffberg. *Ueber den differential-diagnostischen Werth der Farbensinnprüfung* Ber. d. ophthalm. Ges. z. Heidelberg.
5107. Zenger. *Sur un optomètre spectroscope.* Compt. Rend. Bd. 101. S. 1003.

1886.

5108. A. Charpentier. *Méthode polarimétrique pour la photoptométrie et le mélange couleurs.* Arch. d'Ophthalm. S. 40.
5109. Chibret. *Présentation du chromatoptomètre des M. M.* Colardeau, Izarn Chibret. Bull. et mém. de la soc. franç. d'ophtalm. IV. S. 336. — A d'Ophthalm. S. 436.
5110. C. S. Jeaffreson. *A colour circle for testing the chromatic sense.* Lancet. II. S. 1
5111. Oliver. *A new series of Berlin wools for the scientific detection of subnorn colour perception.* Transact. of the americ. ophthalm. Soc. XXII. S. 250. Ophthalm. Rev. S. 262.

5112. A. v. Reuss. *Wolltäfelchen zur Untersuchung auf Farbenblindheit.* Wien. med. Pr. No. 3.

5113. K. Röhrich. *Messung der Schärfe des Farbensinnes an den Tafeln von Ole Bull.* Greifswald. 23 S.

5114. H. Sewall. *A simple method of testing for color-blindness.* Med. News. Philad. S. 625.

5115. L. Wolffberg. *Eine einfache Methode, die quantitative Farbensinnprüfung diagnostisch zu verwerthen.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 359.

1887.

116. Boehm. *Die Diagnose des Astigmatismus durch die quantitative Farbensinnprüfung.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 429.

117. Chibret. *Contribution à l'étude du sens chromatique au moyen du chromatophotomètre.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 40.

118. B. Herzog. *Ueber den practischen Nutzen des Wolffberg'schen Apparates zur diagnostischen Verwerthung der quantitativen Farbensinnprüfung.* Diss. Königsberg i. Pr.

119. Oliver. *New series of Berlin wools for the scientific detection of subnormal colour-perception.* Philad. 4 S.

120. A. W. Stokes. *An apparatus for comparison of colour-tints.* Chem. Soc. 15. Dezbr. — Chem. News. LVI. S. 275.

121. L. de Wecker und J. Masselon. *Échelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle, le sens chromatique et le sens lumineux.* Paris, Doin. 64 S.

1888.

122. J. Aitken. *The new chromomictor.* Scientif. News. I. No. 2. S. 27—28 u. No. 3. S. 57—58.

123. K. Grossmann. *Colour-blindness, with demonstrations of new tests.* Brit. med. Journ. II.

124. E. Hering. *Eine Vorrichtung zur Farbenmischung zur Diagnose der Farbenblindheit und zur Untersuchung der Contrasterscheinungen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 42. S. 119.

125. Oliver. *Description of a series of tests for detection and determination of subnormal color-perception designed for use in railway service.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 86.

126. H. Parinaud. *Échelle optométrique, acuité visuelle, perception de la lumière et des couleurs.* Paris, Roulot.

127. H. A. Stephenson. *Wolffberg's colour test.* Brit. med. Journ. II. S. 111.

1889.

28. Bickerton. *Criticisms of the tests for colour-blindness by the board of trade.* Ophthalm. Rev. S. 297.

29. St. C. Buxton. *Colour-tests for railway servants.* Lancet. S. 1252.

30. Fraenkel. *Farbige Brillen für Farbenblinde.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXVII. (2.) S. 57.

31. K. Grossmann. *Notes on tests for colour-blindness.* Ophthalm. Rev. S. 298.

32. — *Zur Prüfung auf Farbenblindheit.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. Jan. S. 13.

33. J. F. Heyes. *The testing of colour-blindness.* Nature. XL. S. 572.

34. J. Stilling. *Pseudo-isochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbensinnes.* Leipzig, Thieme.

35. W. Uhthoff. *Die practischen Untersuchungsmethoden auf Farbenblindheit.* Münch. med. Wochenschr. S. 657.

36. L. Wolffberg. *Relieftafeln zur Prüfung der Sehschärfe, zur Controlle der Beleuchtungsintensität und zu diagnostischen Zwecken.* Eine vorläufige Mittheilung. Breslau, Preufs & Jünger. 7 S.

1890.

37. E. Bickart. *Ueber Wolffberg's quantitative Farbensinnprüfung zur Diagnose von Refractionsanomalien.* Diss. Strafsburg.

38. L. Clark. *Testing for Colour-Blindness. Letter to the Editor.* Nature. 12. Juni. S. 147.

39. F. W. Edridge-Green. *Two new tests for colour-blindness.* Brit. med. Journ. 11. Jan.

40. — *The detection of colour-blindness.* Brit. med. Journ. 9. Novbr.

41. E. Faravelli. *Premières lignes d'ophthalmospectroscopie.* Arch. Ital. de Biol. XIV, S. 151—154.

42. K. Grossmann. *Note on tests for colour-blindness.* Brit. med. Journ. 11. Jan.

5143. E. Hering. *Zur Diagnostik der Farbenblindheit.* Graefe's Arch. f. Ophthalm XXXVI. (1.) S. 217—233.
5144. O. J. Lodge. *Testing for colour-blindness.* Nature. XIII. S. 100.
5145. J. Stilling. *Pseudo-isochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbensinnes* 3. Aufl. 9 Taf. Leipzig.

1891.

5146. H. Adler. *Die Farbenstiftprobe. Eine neue Methobe zur Untersuchung auf Farbenblindheit.* Wien. klin. Wochenschr. No. 21. S. 387.
5147. F. W. Edridge-Green. *A review of the tests for colour-blindness.* Brit. med. Journ No. 1600. S. 470.
5148. L. Wolffberg. *Apparat zur diagnostischen Verwerthung der quantitativen Farbensinnprüfung.* 3. Aufl. 55 S. Breslau, Preufs & Jünger.
5149. — *Zur dritten Auflage des diagnotischen Farbenapparates. Erläuterungen für de practischen Arzt und Militärarzt.* Breslau, Preufs & Jünger.

1892.

5150. K. Grossmann. *Zur Prüfung auf Farbenblindheit.* Verh. d. X. internat. Congr. IV. S. 5

1893.

5151. St. Clair Buxton. *On a combination test for colour vision.* Lancet. 13. Juli.
5152. Cousins. *Nouveau cadran pour l'épreuve de la vision des couleurs.* Réun. annuel de la Brit. med. Assoc. August.
5153. C. A. Oliver. *A series of wools for the ready detection of colour-blindness.* Transac of the Americ. ophthalm. soc. held at New London. Juli. S. 538.
5154. F. Schmidt u. Haensch. *Neuer Helmholtz'scher Farbenmischapparat.* Zeitsch f. Instrumentenkde. XIII. S. 200.
5155. L. Wolffberg. *Ueber die Functionsprüfungen des Auges.* Arch. f. Augenheilkd XXVI. S. 158—168.

1894.

5156. W. Thompson. *A new wool-test for the detection of color-blindness.* The med. new Philadelphia. Aug.
5157. L. Wolffberg. *Diagnostischer Farbenapparat.* 4. Aufl. Breslau, Preufs & Jünge 40 S. m. 2 Sehpr.

f) Zur Casuistik der Farbenblindheit.

1843.

5158. Boys de Loury. *Observation sur un cas d'aberration dans la sensation des couleur* Rev. méd. Franç. Paris. III. S. 335—344.

1858.

5159. Bronner. *Cases of color-blindness.* Med. Times a. Gaz. London. XII. S. 359—36

1864.

5160. H. W. Dove. *Eine Beobachtung über mangelnden Farbensinn.* Berl. Monatsber. S. 66

1867.

5161. J. Dastich. *Ueber einen Fall von Rothblindheit.* K. böhm. Ges. d. Wiss. (Phil Sect.) 1. Juli.

1871.

5162. F. C. Donders. *Fall von vollständiger Achromatopsie.* Klin. Monatsbl. f. Auge heilkde. S. 470.
5163. M. Woinow. *Zur Diagnose der Farbenblindheit.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (S. 241.

1874.

5164. Liegey. *Cas de altonisme congénital.* Journ. de Méd. de Bruxelles. S. 327.

1875.

5165. Fr. Holmgren. *Ein Fall von Farbenblindheit.* Upsala Läkaref. Förh. X. S. 5 bis 545.
5166. A. Riccò. *Studio di un caso di daltonismo.* Ann. di Ottalm. V. S. 59—94.

1876.

5167. A. Riccò. *Studio di un caso di daltonismo.* Cimento. XV. S. 175. Rendic. A Linc. 2. Jan.

1877.

168. Bull. *Tilfälde af erhvervet Farveblindhet. (Ein Fall von Farbenblindheit.)* Norsk. Mag. f. Lägevid. 3 R. VII Förh. S. 125.

169. W. Camerer. *Versuche eines Farbenblinden am Spectralapparat.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XV. S. 52—60.

1878.

170. F. C. Donders. *Over dichromatische stelsels.* Kon. Akad. v. Wetensch. Afd. Natuurk. 28. Decbr.

171. J. Hirschberg. *Ein Fall von angeborener sog. Farbenblindheit.* Arch. f. (Anat. u.) Physiol. II. S. 332. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 156.

172. Parsevi. *Storia de un caso singolare di cromatopseudopsia.* Giorn. d. R. Acad. di Med. Torino. 3.

173. J. Stilling. *Blau-Gelbblindheit mit unverkürztem Spectrum.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 99—100.

1879.

174. O. Becker. *Ein Fall von angeborener einseitiger totaler Farbenblindheit.* Arch. f. Ophthalm. XXV. (2.) S. 205—212.

175. A. v. Hippel. *Ueber Farbenblindheit.* Berl. klin. Wochenschr. No. 30.

176. E. Landolt. *A manuel of examination of the eyes,* translated by S. M. Burnett. Philadelphia. S. 190—191.

177. Nuël. *Des altérations acquises du sens chromatique.* Bull. de l'Acad. roy. de méd. de Belgique. (3) XIII. 3. S. 372—391. Ann. d'Ocul. Bd. 82. S. 64.

1880.

178. A. v. Hippel. *Ein Fall von einseitiger congenitaler Roth-Grünblindheit bei normalem Farbensinn des anderen Auges.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (2.) S. 176.

179. H. Magnus. *Ein Fall von angeborener totaler Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IV. S. 373.

180. Nettleship. *On cases of congenital day-blindness with colour-blindness.* St. Thomas Hosp.-Rep. No. X.

181. E. Pflüger. *Beobachtungen an Farbenblinden.* Arch. f. Augenheilkde. IX. S. 381.

1881.

182. A. v. Hippel. *Ueber einseitige Farbenblindheit.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (3.) S. 47.

183. Fr. Holmgreen. *Flere Fall of ensidig Färgblindhet.* Upsala Läkaref. Förh. XVI. S. 222—225.

184. E. Landolt. *Achromatopsie totale.* Arch. d'ophthalm. franç. No. 2. S. 114—120.

185. H. Magnus. *A case of congenital total color-blindness.* Boston med. and surg. Journ. CIII. No. 4. S. 34.

186. E. Pflüger. *Weitere Beobachtungen an Farbenblinden.* Arch. f. Augenheilkde. XI. S. 1.

187. S. Snell. *Peculiar case of Colour-Blindness.* Lancet. April 30. S. 727.

1882.

188. G. Hermann. *Ein Beitrag zur Casuistik der Farbenblindheit.* Diss. Dorpat.

189. B. Kolbe. *Ein Fall von angeborener einseitiger Rothgrünschwäche.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. VI. S. 291.

190. H. Noyes. *Two cases of hemi-achromatopsia.* Arch. f. Ophthalm. XI. 2. Juni.

191. Trécul. *Exemple du noir vu en rouge orangé.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 1198.

1883.

192. Fontan. *Un cas de daltonisme traumatique.* Rec. d'Ophthalm. S. 705.

193. J. L. Minor. *A case of colour-blindness for green.* Americ. Journ. of med. Sc. Philad. N. S. LXVXX. S. 471.

194. S. W. Shufeldt. *A case of daltonism affecting one eye.* Med. Rev. New York. XXIII. S. 319.

195. H. R. Swanzy. *Case of Hemiachromatopsia.* Trans. of the Ophthalm. Soc. Vol. III. Lancet. II. (3.)

1884.

196. Eperon. *Hemiachromatopsie.* Arch. f. Augenheilkunde. XIII. S. 123. Arch. d'Ophthalm. S. 356.

197. Noyes. *Zwei Fälle von Hemiachromatopsie.* Arch. f. Augenheilkde. XIII. S. 123.

1885.

5198. Bickerton. *Case of colour-blindness.* Liverpool. Med.-chir. Journ. V. S. 508.
5199. Dor. *Una observaçao de achromatopsia completa.* Arch. ophthalm. de Lisb. V S. 97.
5200. — *Un cas de chromatotyphlose ou achromatopsie complète.* Rev. gén. d'Ophthalm S. 433.
5201. B. L. Millikin. *Case of sudden loss of color perception.* Columbus med. Journ IV. S. 193.

1886.

5202. R. Feret. *Application du diagramme des couleurs à des expériences faites sur u daltonien.* Compt. Rend. CII. S. 608—610. — Rev. Scientif. No. 12. S. 376.

1888.

5203. Verrey. *Hemiachromatopsie droite absolue; conservation partielle de la perceptio lumineuse et des formes.* Arch. d'Ophthalm. VIII. S. 289.
5204. Williams. *Partial chromatopsy; green vision in spots.* St. Louis med. and sur Journ. Sept.

1889.

5205. F. W. Edridge-Green. *Note on a case of asymmetrical colour-blindness.* Med. Pre London. S. 53.

1890.

5206. C. Hess. *Untersuchungen eines Falles von halbseitiger Farbensinnstörung am link Auge.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (3.) S. 24—36.
5207. J. Hogg. *An undetected case of colour-blindness.* Brit. Med. Journ. 19. April.
5208. F. Kreyssig. *Genuine totale Farbenblindheit.* Mitth. a. d. ophthalm. Klinik i Tübingen. S. 332.
5209. Rayleigh. *On defective colour vision.* Rep. of the Brit. Assoc. for 1890. S. 72 bis 729. 1891.

1891.

5210. E. Hering. *Untersuchung eines total Farbenblinden.* Pflüger's Arch. f. d. ge Physiol. Bd. 49. S. 563—609.
5211. E. Landolt. *Un nouveau cas d'achromatopsie totale.* Arch. d'ophth. XI. (3.) S. 20 bis 207.
5212. Querenghi. *Due casi di Acromatopsia totale.* Ann. di Ottalm. Anno XX. S. 35 Ann. d'ocul. CVI. S. 333.
5213. M. v. Vintschgau. *Physiologische Analyse eines ungewöhnlichen Falles partiell Farbenblindheit. (Trichromasie des Spectrums.)* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physio XLVIII. S. 431—528.

1892.

5214. A. Mc. Gillivray. *A case of central colour defects, with remarks.* Brit. med. Journ 23. Juli.
5215. A. Kirschmann. *Beiträge zur Kenntnifs der Farbenblindheit.* Wundt's Philos. Stu VIII. S. 173—230 u. 407—430.
5216. M. v. Vintschgau. *Ueber Farbenblindheit.* Ber. d. naturw.-med. Vers. in Inn bruck. XX. 1891/92.

1894.

5217. Beevor. *Functional amblyopia and achromatopsia of the right eye in a man wi loss of other special senses right hemiplegia, tremors and hemianaesthesia.* Tran Ophthalm. Soc. U. K. XIV. S. 249.
5218. E. Hering. *Ueber einen Fall von Gelb-Blaublindheit.* Pflüger's Arch. f. d. ge Physiol. Bd. 57. S. 308—332.
5219. A. v. Hippel. *Ueber totale angeborene Farbenblindheit.* (Aus Festschr. zur 200jäh Jubelfeier d. Univers. Halle.) Berlin, A. Hirschwald. 11 S. mit 1 Taf.
5220. A. König. *Eine bisher noch nicht beobachtete Form angeborener Farbenblindhe (Pseudo-Monochromasie.)* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 161—171.
5221. R. Simon. *Ueber typische Violettblindheit bei Retinitis albuminurica.* Centralbl. prakt. Augenheilkde. XVIII. S. 132—139.
5222. E. Uhry. *Beitrag zur Casuistik der Blau-Gelbblindheit.* Diss. Strafsburg. 36
5223. M. v. Vintschgau. *Physiologische Analyse eines ungewöhnlichen Falles partiell Farbenblindheit.* Zweite Mittheilung. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 5 S. 191—307.

g) Xantopsie (Santoninwirkung), Erythropsie, Chloropie und Kyanopie.

1842.

5224. V. Szokalski. *Ueber die Empfindungen der Farben in physiologischer und pathologischer Hinsicht.* Giefsen. S. 153.

1852.

5225. Witcke. *Wirkung des Wurmsamens.* Med. Zeitschr. d. Ver. f. Heilk. in Preufsen. No. 7.

1854.

5226. Knoblauch. *Beitrag zur Wirkung des Santonins auf das Sehorgan.* Deutsche Klinik. No. 35.

1855.

5227. Zimmermann. *Gelb- und Grünsehen nach Santoningebrauche.* Deutsche Klinik. Nov. 14.

1858.

5228. A. de Martini. *Effets produits sur la vision par la santonine.* Compt. Rend. XLVII. S. 259—260.

5229. E. Rose. *De Santonico.* Diss. Berlin.

1859.

5230. T. L. Phipson. *Action de la santonine sur la vue.* Compt. Rend. XLVIII. S. 593 bis 594.

5231. Lefèvre. *Action de la santonine.* Compt. Rend. XLXIII. S. 448.

5232. E. Rose. *Ueber die Wirkung der wesentlichen Bestandtheile der Wurmblüthen.* Virchow's Arch. XVI. S. 233—253.

1860.

5233. Falck. *Mittheilungen über die Wirkungen des Santonins.* Deutsche Klinik. No. 27 u. 28.

5234. E. Rose. *Ueber die Farbenblindheit durch Genufs der Santonsäure.* Virchow's Arch. XIX. S. 522—536. XX. S. 245—290.

5235. A. de Martini. *Sur la coloration de la vue et de l'urine produite par la santonine.* Compt. Rend. L. S. 544—545. Inst. S. 108 u. 109.

5236. Guépin. *Note sur l'action de la santonine sur la vue et son action thérapeutique.* Compt. Rend. LI. S. 794—795.

1861.

5237. Franceschi. *On the action of Santonine on vision and its causes.* Ref. in Ann. d'Ocul. S. 199.

1863.

5238. E. Rose. *Ueber die Hallucinationen im Santonrausch.* Virchow's Arch. XXVIII.

1864.

5239. E. Rose. *Die Gesichtstäuschungen im Icterus (Nebst einem Anhang über den Farbensinn bei der Nachtblindheit und die Wirkung der Pikrinsäure auf das Auge.)* Virch. Arch. XXX. S. 442.

1865.

5240. R. Schelske. *Rothblindheit in Folge pathologischer Processe.* Arch. f. Ophthalm. XI. (1.) S. 171.

1867.

5241. G. Hüfner. *Versuch einer Erklärung der im Santonrausche beobachteten Erscheinung von partieller Farbenblindheit im Sinne der Young'schen Theorie.* Arch. f. Ophthalm. XIII. (2.) S. 309.

1868.

5242. W. Preyer. *Ueber anomale Farbenempfindungen und die physiologischen Grundfarben.* Pflüger's Arch. I. S. 229—329.

5243. F. Giovanni. *Effets de coloration de la santonine.* Journ. de chim. med. S. 373 bis 376.

1871.

5244. Brachet und E. Gsell. *De l'application de verres à base d'uranium ou de sesquioxyde de fer aux bésicles, pour combattre les affections de l'oeil et principalement l'aphakie.* Compt. Rend. Bd. 72. S. 544.

1874.

5245. H. Schliephake. *Beiträge zur Kenntnifs der Einwirkung des galvanischen Stromes auf das menschliche Auge (Wirkung der Santoninvergiftung auf den Einflufs des galvanischen Stromes).* Pflüger's Arch. VIII. S. 565.
5246. W. Schön. *Farbenstörung durch Santonin.* Berl. klin. Wochenschr. No. 29.
5247. Woinow. *Ueber die Wirkung des Santonins auf die Netzhaut.* (Russisch.) Med. Rundsch. Moskau. 5. Heft.

1877.

5248. G. Brackmeyer. *Ueber die Einwirkung der Santonsäure auf den Farbensinn.* Würzburg.
5249. O. N. Rood. *Observations on a property of the retina, first noticed by Tait.* Sillim. Journ. Vol. XIII. S. 32.

1878.

5250. W. W. Seely. *The Yellow Vision in Santonin Poisoning.* The Cincinati Clin. XIV. No. 6.

1879.

5251. Cuignet. *Vision rouge.* Rec. d'Ophthalm. September.

1881.

5252. L. Mauthner. *Ueber farbige Schatten, Farbenproben und erworbene Erythrochloropie.* Wien. med. Wochenschr. No. 38 u. 39.
5253. O. Purtscher. *Ein Fall von Erythropsie nach Cataracta traumatica.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 333.

1882.

5254. Kesteven. *Xantopsia.* Clin. Soc. of London. 27. Januar.
5255. G. Mayerhausen. *Zur Kenntnifs der Erythropsie.* Wien. med. Presse. Jahrg. XXIII. No. 42.
5256. — *Ueber Rothscheu.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. VI. S. 348.
5257. Steiner. *Zur Kenntnifs der Erythropsie.* Wien. med. Pr. No. 44. S. 1387.

1883.

5258. Benson. *On Erythropsia.* Ophthalm. Rec. II. No. 26.
5259. F. Dimmer. *Zur Erythropsie Aphakischer.* Wien. med. Wochenschr. No. 15.
5260. J. Hirschler. *Zum Rothsehen der Aphakischen.* Wien. med. Wochenschr. S. 89, 125 u. 149.
5261. Mari. *La Santonina e la visione dei colori.* Ann. d'Ottalm. XI. (6.)
5262. O. Purtscher. *Zur Frage der Erythropsie Aphakischer.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. VII. Juni.

1884.

5263. R. Hilbert. *Ueber eine eigenthümliche Ermüdungserscheinung des nervösen Sehapparates und seine Beziehung zur Erythropsie.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 403. — Rec. d'Ophthalm. Nov. S. 653.
5264. — *Zur Kenntnifs der pathologischen Farbenempfindung.* Betz' Memorabilien. Jahrg. 1884. S. 526.
5265. Steinheim. *Zur Erythropsie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. VIII. S. 44. — Rec. d'Ophthalm. S. 210.

1885.

5266. K. L. Baas. *Periodisches Blausehen als einzige Erscheinung eines larvirten Wechselfiebers* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 240.
5267. Berger. *Ein Fall von Erythropsie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IX. S. 140.
5268. Coggins. *A case of erythropsia.* Boston med. and surg. Journ. Bd. 113. S. 615.
5269. van Duyse. *Deux cas d'Erythropsie.* Rev. gén. d'Ophthalm. No. 5. S. 197.
5270. R. Hilbert. *Zur Kenntnifs der Xantopie.* Arch. f. Augenheilkde. XV. S. 419.
5271. — *Ueber Xantopie durch Pikrinsäure.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IX. S. 70.
5272. J. Hirschberg. *Ein Fall von Blausehen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IX. S. 141.
5273. — *Ueber Gelbsehen und Nachtblindheit der Icterischen.* Berl. klin. Wochenschr. No. 23.
5274. Pflüger. *Erythropsie.* Bericht über die Augenklinik in Bern f. 1883. S. 49.
5275. O. Purtscher. *Weitere Beiträge zur Frage der Erythropsie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IX. S. 48 u. 72.

5276. C. Schulin. *Erythropsia.* Northwest. Lancet, St. Paul. 1884—85. IV. S. 317.
5277. A. Szili. *Ueber Erythropsie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IX. Februar.

1886.

5278. A. Carreras. *La eritropsia en los operados de cataracta.* Rev. de sc. méd. S. 391.
5279. Galezowski. *De l'érithropsie ou vision colorée des opérés de la cataracte.* Arch. slav. de biol. I. S. 426.
5280. A. Geissler. *Beiträge zur Kenntnifs der Erythropsie (Rothsehen) und verwandter Erscheinungen.* Schmidt's Jahrb. Bd. 208. S. 86.
5281. R. Hilbert. *Zur Kenntnifs der Erythropsie.* Kl. Monatsbl. f. Augenheilkde. S 483.
5282. — *Contribution to the knowledge of xanthopsia.* Arch. Ophthalm. New-York. XIV. S. 196.
5283. — *Beitrag zur Kenntnifs der transitorischen Farbenblindheit.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 417.
5284. Szili. *Einige Bemerkungen zur Erythropsiefrage.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 259.

1887.

5285. W. Dobrowolsky. *Ueber die Ursachen der Erythropsie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. (2.) S. 213.
5286. Th. Kubli. *Vier Fälle von Erythropsie* (Russisch.) Westnik ophthalm. IV. (3.) S. 239.
5287. O. Purtscher. *Neue Beiträge zur Frage der Erythropsie.* Arch. f. Augenheilkde. XVII. S. 260.

1888.

5288. Dufour. *Sur la vue rouge ou l'érythropsie.* Ann. d'Ocul. Bd. 99. S. 135.
5289. A. König. *Ueber den Einflufs von santoninsaurem Natron auf ein normales trichromatisches Farbensystem.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XII. S. 353.
5290. E. Valude. *L'érythropsie.* Arch. d'Ophthalm. VIII. S. 130.
5291. Westhoff. *Erythropsie bei Aphakie.* Festbundel, Donders' Jubiléum. Amsterdam. S. 256.

1889.

5292. Vetsch. *Ueber das Rothsehen.* Correspondenzbl. f. Schweiz. Aerzte. XIX.

1891.

5293. M. Reich. *Zur Lehre von der Erythropsie und Xanthokyanopsie.* Westnik Oftalm. — Petersb. med. Wochenschr.

1892.

5294. W. M. Baumont. *Erythropsie dans l'aphakie.* Ophthalm. Rev. XI. S. 72—75.
5295. R. Hilbert. *Zur Kenntnifs der Kyanopie.* Arch. f. Augenheilkde. Bd. 24. S. 240—244.
5296. van Millingen. *Contribution à l'étude de l'erythropsie.* Ann. d'ocul. S. 417.

1893.

5297. E. Berger. *Accès d'érythropsie chez un aveugle.* Rev. gén. d'ophthalm. No. 2. S. 65.
5298. E. Fuchs. *Ueber einen Fall von subjectiven Gehörs- uud Gesichtsempfindungen.* Neurol. Centralbl. No. 22.
5299. R. Hilbert. *Die Chloropie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XVII. Jahrg. S. 50—52.
5300. J. Hirschberg. *Grünsehen auf einem Auge.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XVII. S. 110—111.

1894.

5301. Guebhard. *Ueber Grünsehen.* Séanc. d. l. Soc. franç. de Phys. 1893. S. 129. — Naturwiss. Rundsch. S. 168.
5302. R. Hilbert. *Die durch Einwirkung gewisser toxischer Körper hervorgerufenen subjectiven Farbenempfindungen.* Arch. f. Augenheilkde. XXIX. S. 28—32.
5303. — *Erythropie, zehn Minuten andauernd, in Folge starker Erregung des Nervensystems.* Betz's Memorabilien. 3. H.
5304. Somya. *Zwei Fälle von Grünsehen.* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 305—307.

h) Praktische Bedeutung und Verbreitung der Farbenblindheit.

1858.

5305. G. Wilson. *A note on the statistics of colour-blindness.* Year book of facts. S. 138—139.

1873.

5306. A. Favre. *Du daltonisme au point de vue de l'industrie des chemins de fer.* Lyon méd. No. 19. S. 6—20.

5307. A. Favre. *Réforme des employés de chemin de fer affectés de daltonisme.* Congr. de l'Assoc. franç. pour l'avancement des sc. Lyon.

1874.

5308. Blaschko. *Daltonismus der Eisenbahnbeamten.* Vierteljahrsschr. f. gerichtl. Med. S. 74.
5309. Cohen. *Daltonismus der Eisenbahnbeamten.* Neederl. Weekbl. S. 313.
5310. A. Favre. *Daltonismus der Eisenbahnbeamten.* Lyon méd. No. 22.

1876.

5311. A. Favre. *De la dyschromatopsie dans les rapports avec l'état militaire et la navigation.* Lyon.
5312. Feris. *Daltonisme dans ses rapports avec la navigation.* Paris. — Congrès des médecins scandinaves réunis à Gothenburg. July 14.

1877.

5313. F. C. Donders. *Rapport van het Gerichtsvermogen van het personeel. Staatsspoorwegen.* Utrecht. Rep. v. h. Nederl. Gasth. v. Ooglijders 1878.
5314. A. Favre. *Du Daltonisme dans ses rapports avec la navigation.* Lyon.
5315. Michel. *Die Prüfung der Sehkraft und der Farbenblindheit beim Eisenbahnpersonal.* Aerztl. Intelligenzbl. No. 47.
5316. J. Stilling. *Die Prüfung des Farbensinnes beim Eisenbahn- und Marinepersonal.* Cassel, Fischer. 7 S. 3 Taf.

1878.

5317. H. Cohn. *Beobachtungen an 100 Farbenblinden.* Ber. üb. d. Sitzg. d. Heidelb. Ophthalm. Ges. S. 110—120. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. Beil. z. Augusthft.
5318. H. Cohn u. H. Magnus. *Untersuchung von 5000 Schulkindern auf Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 97—99.
5319. A. Daae. *Ein Beitrag zur Statistik der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenkeilkde. II. S. 79 u. 263.
5320 Dherbes. *Moyen d'éviter les accidents dus au daltonisme, dans la perception des signaux colorés.* Compt. Rend. Bd. 87. S. 502.
5321. J. Jeffries. *Relative frequency of colour-blindness in males and females.* Med. and surg. Journ. Boston. Juli.
5322. — *Dangers from color-blindness in railroad employés and pilots.* 9th. Ann. Rep. Mass. State Board Health.
5323. Fr. Holmgren. *De la cécité des couleurs dans ses rapports avec les chemins de fer et la marine.* Paris. G. Masson.
5324. — *Die Farbenblindheit in ihren Beziehungen zu den Eisenbahnen und der Marine.* Leipzig. F. C. W. Vogel.
5325. — *Ueber die Farbenblindheit in Schweden.* Upsala Läkaref. Förh. XIII. S. 641—648. Französ. i. Anhang zu XIV. Heft 1. S. VIII—XV.
5326. — *Ueber die Farbenblindheit in Schweden.* Centralbl. f. prakt. Augenheilk. II. Sept.
5327. A. Lederer. *Farbenblindheit und mangelhafter Farbensinn mit Rücksicht auf den Signaldienst in der Marine.* Wien. med. Wochenschr. XXVIII. No. 2. 3 u. 4.
5328. H. Magnus. *Ueber die Höhe des Procentsatzes der Farbenblindheit und die sie bedingenden Factoren.* Bresl. Ztg. No. 537.

1879.

5329. Swan M. Burnett. *Resultat der Untersuchung des Farbensinnes von 3040 Kindern in den Schulen der Farbigen im District Columbia.* Arch. f. Augenheilkde. IX. S. 146. 1880. Nat. med. Rev. (Washington.) I. S. 191—198.
5330. A. Carl. *Ein Beitrag zur Statistik der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. III. S. 360—362.
5331. H. de Cock. *Kleuronderscheidingsvermogen bij de Kon. Ned. Zeemacht in Oost-Indie.* Nederl. Mil. Geneesk. Arch. III. S. 386—403.
5332. O. E. de Fontenay. *Ueber die Farbenblindheit in Dänemark.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. III. S. 135—136.
5333. F. Holmgren. *Beiträge zur Statistik der Farbenblindheit.* Upsala Läkaref. Förh. XIV. S. 204—248, 411—500.
5334. Hosch. *Zur Statistik der angeborenen Farbenblindheit.* Correspondenzbl. f. Schweiz. Aerzte. IX. No. 8. S. 225—235.
5335. Jeffries. *Color-blindness among school-children.* Boston evening transcript. 9. April.

5336. O. Just. *Beiträge zur Statistik der Myopie und des Farbensinnes.* Arch. f. Augenheilkde. VIII. (2.) S. 191—201.

5337. Keyser. *Report on the examination of railroad employees for colour-blindness.* Med. Report. No. 448. New-York. 7. Juni.

5338. H. Magnus. *Untersuchungen von 5489 Breslauer Schülern und Schülerinnen auf Farbenblindheit.* Bresl. ärztl. Zeitschr. No. 2.

5339. Meyhöfer. *Untersuchung von Schülerinnen auf Farbenblindheit.* Schles. Ztg. No. 187.

5340. Moeller. *Rapport sur la réforme des employées de chemin de fer affectées de Daltonisme en Suède, Norvège et Danemark.* Bull. de l'Acad. de Belg. XIII. (2.) S. 330—361.

5341. — *Étude critique des méthodes d'exploration pour les recherches des daltoniens dans le personel des chemins de fer.* Bull. d'Acad. Roy. de Belg. XII. (2.) S. 283—330 u. 330—361.

5342. A. v. Reuss. *Die Farbenblindheit in ihren Beziehungen zu den Eisenbahnen.* Neue Freie Presse. 4. Septbr.

5343. Talko. *Ueber das Untersuchen der Farbenblinden an den Eisenbahnen.* Medycyna. Sowrennaja Medicina. No. 11 u. 12.

1880.

5344. H. W. Austin. *The color-blind and colored signals.* New Orleans Med. a. surg. Journ. Oct.

5345. O. E. de Fontenay. *Ueber das Vorkommen der angeborenen Farbenblindheit in Dänemark.* Nord. med. ark. XII. No. 8. No. 15.

5346. B. J. Jeffries. *Report of the examination of 27927 school-children for Color-blindness.* Boston.

5347. Magnus. *Examination of colour-blindness.* Boston. Med. a. Surg. Journ. CII. (5.) S. 117.

5348. A. Meyer. *Osservazioni sulla cecità pei colori in Italia.* Ann. di Ottalm. Anno IX. S. 190—196.

5349. A. Schmitz. *Statistische Mittheilungen über das Vorkommen von Farbenblindheit in Cleve und Umgegend.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IV. S. 275—278.

1881.

5350. W. T. Bacon. *Report of examinations of railroad employés. Color-Blindness.* Conn. State Board Health Report 1881.

5351. E. W. Bartlett. *Color-Blindness.* State Board Health Rep. Wisconsin. S. 16—27.

5352. de Fontenay. *Farvedblind hedeno Betydning for Jernbanere.* Jernbanebladet. 11. November.

5353. J. W. Holland. *Farbenblindheit bei Eisenbahnbediensteten.* Gesundheit. III. S. 61.

5354. Mellberg. *Jakttagelser rörande färgblindhet.* Nord. med. Ark. XII.

5355. J. Stilling. *Simultancontrast bei Farbenprüfungen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 129—131.

1882.

5356. Lyder Borthen. *Farbenblindheits-Untersuchungen von 550 Schulkindern in Throndhjem.* Norweg. Monatsbl. f. Augenheilkde. Dez.

5357. B. Kolbe. *Untersuchungen auf Farbenblindheit in Rufsland.* Wratsch. No. 28 u. 32. Deutscher Auszug in St. Petersburger Med. Wochenschr. No. 43.

5358. W. Kroll. *Ueber die günstigen Erfolge der Ausbildung des Farbensinnes.* Hirschberg's Centralbl. f. Augenheilkde. Dez.

5359. D. Ruiz y Sauroman. *Estudios sobre el daltonismo aplicado à la navegacion.* Bol. de med. nav. San Fernando. V. S. 97.

5360. A. Schmitz. *Weitere 2623 Untersuchungen auf Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. VI. September.

5361. W. Thomson. *The pratical examination of railway employées, as to color-blindness, acuteness of vision and hearing.* Med. News. Philadelphia. XL. S. 36.

5362. E. Vitali. *L'acromatopsia, o daltonismo, considerata in modo speciale nei suoi rapporti col servizio ferroviario; ed esposizione del metodo Holmgren per riconoscerla.* Bari.

1883.

5363. G. B. Bono. *Il daltonismo nei delinquenti.* Arch f. psichiatr. etc. Torino. IV. S. 88.

5364. Velardi. *Rapporto del esame del senso cromatico nel personale delle ferrovie meridionali.* Ann. di Ottalm. S. 297.

1884.

5365. Foucher. *De la cécité des couleurs dans ses rapports avec les chemins de fer et la marine.* Union méd. de Canada. XIII. S. 49.

1885.

5366. J. Hogg. *Colour-blindness in the mercantile marine.* Brit. med. Journ. I. S. 1151.

5367. Thomson. *A report of the examination of the employees of the Pennsylvania rail road as to color sense, acuteness of vision and hearing.* Transact. of the americ. ophthalm. soc. Boston. S. 728.

5368. — *The sight and hearing of railway employées.* Pop. Sc. Monthly, Febr. S. 433—441.

1886.

5369. Clark. *Examination of colour-blindness among the employees of the C. H. and D. R. R. and its subdivisions.* Cinc. Lancet and Clin. XVII. S. 642.

5370. Woerms. *Le daltonisme chez les employés de chemin de fer.* Gaz. des hôp. No. 24. S. 188.

1887.

5371. T. H. Dickerson. *Colour-blindness; its present position in the mercantile marine service.* Fort Wayne Journ. med. soc. VII. S. 178.

5372. K. Hoor. *Prüfung auf Farbenblindheit bei der k. k. Armee und Kriegsmarine.* Militärarzt. XXI. S. 73 u. 81.

5373. Pertorelli. *Il senso chromatico degli impiegati ferroviari.* Ann. di Ottalm. XV. S. 500.

5374. W. Thomson. *Color-blindness among railroad employes.* Med. News. Philadelphia. LI. S. 182.

5375. *Color-blindness among railway employees.* Science. IX. S. 41. X. S. 121.

1888.

5376. S. T. Armstrong. *Colour-blindness in the mercantile marine of the united states.* Brit. med. Journ. I. S. 188.

5377. Bickerton. *Sailors and their eyesight, including colour-blindness.* Ophthalm. Rev. II. S. 1038.

5378. E. Ruiz y Sauromán. *El daltonismo en sus relaciones con la navegación.* Bol. de med. nav. Madrid. XI. S. 131.

1889.

5379. F. W. Edridge-Green. *The detection of colour-blindness from a practical point of view.* London, Ballière, Tindall and Cox.

5380. Maréchal. *Recherches des daltoniens dans le recrutement maritime.* Rec. d'Ophthalm. S. 33—37.

5381. Ruiz y Sauroman. *El daltonisme en sus relacionos con la navegacion.* Bol. de med. nav. Madrid. XII. S. 29, 133, 190, 241 u. 276. XIII. (1890.) S. 5.

1892.

5382. Libbrecht. *Du Daltonisme au point de vue de l'examen des employés du chemin de fer et de la marine.* Verhandl. d. X. internat. Congr. IV. S. 92.

5383. S. Snell. *On the importance of the examination of the eyes separately for defects of colour-vision.* Brit. med. Journ. No. 1622. S. 222.

5384. *Report of the Committee on colour vision.* Roy. Soc. Proc. LI. No. 311. S. 281.

1893.

5385. *Colour-blindness in the mercantile marine.* Brit. med. Journ. No. 1706. S. 594.

---

§ 21.

Von der Intensität der Lichtempfindung.

1. Psychophysisches Gesetz, Adaptation, untere Reizschwelle, Gröfse des Eigenlichtes.

1760.

5386. P. Bouguer. *Traité d'Optique sur la gradation de la lumière, publ. par Lacaille.* Paris.

1837.

5387. Steinheil. Abhandl. d. math.-phys. Klasse der bayr. Akademie. S. 14.

1844.

5388. Masson. *Etudes de photométrie électrique.* Compt. Rend. XVIII. S. 289. — Pogg. Ann. LXIII. S. 158.

1845.

5389. Masson. Ann. de chim. et de phys. XIV. 150.

1857.

5390. Förster. *Ueber Hemeralopie und die Anwendung eines Photometers im Gebiete der Ophthalmologie.* Habilitätsschr. Breslau.

1858.

5391. Arago. *Oeuvres complètes.* X. S. 255.

5392. *G. Th. Fechner. *Ueber ein wichtiges psychophysisches Grundgesetz zur Schätzung der Sterngrössen.* Leipzig. Aus den Abhandl. der sächs. Gesellschaft der Wissensch. Math.-phys. Klasse. IV. S. 457. — Nachtrag dazu im Berichte der sächsischen Gesellschaft. 1859. S. 58.

1859.

5393. G. Th. Ruete. *Explicatio facti quod minimae paullum lucentes stellae tantum peripheria retinae cerni possint.* Programm. Leipzig.

1860.

5394. G. Th. Fechner. *Elemente der Psychophysik.* Leipzig. 2 Bd.

1861.

5395. H. Aubert. *Beiträge zur Physiologie der Netzhaut.* Abhandl. d. Schles. Ges. f. vaterl. Cultur. S. 49. — Moleschott's Unters. VIII. S. 243.

1864.

5396. G. Th. Fechner. *Ueber die Frage des psychophysischen Grundgesetzes mit Rücksicht auf Auberts Versuche.* Leipz. Ber. S. 1—20.

5397. H. Aubert. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau. S. 23—153.

1867.

5398. V. Hensen. *Ueber das Sehen in der fovea centralis.* Virch. Arch. f. pathol. Anat. XXXIX. S. 475.

1870.

5399. A. Sichel. *De l'anesthésie rétinienne.* Ann. d'ocul.

5400. M. Woinow. *Zur Frage über die Intensität der Farbenempfindungen.* Arch. f. Ophthalm. XVI. 1. S. 251.

1871.

5401. S. Lamansky. *Ueber die Grenzen der Empfindlichkeit der Augen für Spectralfarben.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (1.) S. 123. Pogg. Ann. 1870. XVI. (1.) S. 251.

1872.

5402. Delboeuf. *Recherches théoriques et expérimentales sur la mesure des sensations et spécialement des sensations de lumière et de fatigue.* Bull. Bruxelles. (2.) XXIV. S. 250—262. Inst. S. 413—416.

5403. W. Dobrowolsky. *Ueber die Empfindlichkeit des Auges gegen die Lichtintensität verschiedener Spectralfarben.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 74—92. Monatsber. d. Königl. Akad. d. Wiss. zu Berlin. S. 119—122.

5404. J. Plateau. *Sur la mesure des sensations physiques et sur la loi qui lie l'intensité de ces sensations à l'intensité de la cause excitante.* Compt. Rend. Bd. 75. S. 677. Bull. de l'acad. roy. de Belg. 2. sér. T. XXXIII. No. 5. S. 376—388.

1873.

5405. J. Delboeuf. *Recherches théoriques et expérimentales sur la mesure des sensations et spécialement des sensations de lumière et de fatigue.* Bruxelles. 115 S.
5406. — *Etude psychophysique.* Bruxelles. — Mém. d. l'Acad. roy. de Belgique.
5407. W. Dobrowolsky. *Sensibilité de l'oeil pour discerner les différences de l'intensité des diverses couleurs.* Mondes. (2.) XXX. S. 397. Inst. (2.) I. S. 60.

1874.

5408. F. Brentano. *Psychologie vom empirischen Standpunkt.*
5409. E. Hering. *Zur Lehre vom Lichtsinn. IV. Ueber die sog. Intensität der Lichtempfindung und über die Empfindung des Schwarzen..* Wien. Ber. (3.) LXIX. S. 85—106.
5410. J. Plateau. *Ueber die Messung psychischer Empfindungen und das Gesetz, welches die Stärke der Empfindung mit der Stärke der erregenden Ursache verknüpft.* Pogg Ann. Bd. 150. S. 465—475.
5411. E. Raehlmann. *Ueber Schwellenwerthe der verschiedenen Spektralfarben an verschiedenen Stellen der Netzhaut.* Arch. f. Ophthalm. XX. (1.) S. 232.

1875.

5412. Breton. *Sur la loi de Fechner.* Mondes. (2.) XXXVIII. S. 63—69.
5413. E. Hering. *Zur Lehre von der Beziehung zwischen Leib und Seele. I. Mittheil. über Fechner's psychophysisches Gesetz* Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. Bd. 72. (3.) S. 310—348.
5414. A. Ilen. *Ueber die Sehschärfe und Intensität der Lichtempfindung auf der Peripherie der Netzhaut.* Petersb. Dissert. — Militärärzt. Journ. Juni.

1876.

5415. E. Carp. *Ueber die Abnahme der Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung nebst einer neuen Methode den Lichtsinn zu messen.* Marburg.
5416. W. Dobrowolsky und A. Gaine. *Ueber die Lichtempfindlichkeit (Lichtsinn) an der Peripherie der Netzhaut.* Pflüger's Arch. f. Physiol. Bd. XII. S. 432—440.
5417. W. Dobrowolsky. *Ueber die Empfindlichkeit des Auges gegen die Lichtintensität der Farben (Farbensinn) im Centrum und an der Peripherie der Netzhaut.* Pflüger's Arch. f. Physiol. Bd. XII. S. 441—471.
5418. Langer. *Die Grundlagen der Psychophysik.*
5419. H. Schmidt-Rimpler. *Vorlegung eines neuen Apparates zur Bestimmung des Licht. sinnes.* Tagebl. d. 49. Vers. d. Naturf. u. Aerzte zu Hamburg. S. 119.

1877.

5420. A. Chodin. *Ueber die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Lichtstärke.* Samml. physiol. Abhandl. von Preyer. VII. 66. S. Jena. Dufft.
5421. G. Th. Fechner. *In Sachen der Psychophysik.* Leipzig.
5422. B. Th. Lowne. *On the quantitative relation of light to sensation. — A contribution to the physiology of the retina.* Journ. of Anat. and Physiol. Vol. XI. S. 707—719.
5423. — *On some phenomena connected with vision.* Proc. of the London Roy. Soc. XXV. S. 487—492.

1878.

5424. J. Delboeuf. *La loi psychophysique et le nouveau livre de Fechner.* Paris.
5425. A. Kleiner. *Physiologisch-optische Beobachtungen. II. Ueber das psychophysische, resp. Weber'sche Gesetz.* Pflüger's Arch. Bd. 18. S. 542—573.
5426. G. E. Müller. *Zur Grundlegung der Psychophysik.* Berlin, Grieben. — Bibl. f. Wiss. u. Litter. Bd. 23.
5427. — *„In Sachen der Psychophysik. Von Gustav Fechner."* Gött. gelehrt. Anz. Stück 26 u. 27. S. 801—837.
5428 C. Trotter. *Note on „Fechner's Law".* Journ. of Physiol. I. 1. S. 60—65.

1879.

5429. E. Brücke. *Ueber einige Consequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie.* Wien Ber. Bd. 80. (3.) 3. Juli.
5430. A. Charpentier. *Sur la quantité de lumière perdue pour la mise en activité de l'appareil visuel et ses variations dans différentes conditions.* Compt. Rend. Bd. 88. S. 189.

431. Kleiner. *Physiologisch-optische Beobachtungen.* II. *Ueber das psycho-physische resp. Weber'che Gesetz.* Pflüger's Arch. XVIII. S. 542—573.

432. G. E. Müller. *Zur Grundlegung der Psychophysik.* 2. Ausg. Berlin, Hofmann.

433. G. Schadow. *Die Lichtempfindlichkeit der peripheren Netzhauttheile im Verhältniss zu deren Raum- und Farbensinn.* Pflüger's Arch. XIX. S. 439—461.

1880.

434. A. Charpentier. *Sur la sensibilité de l'oeil aux différences de lumière.* Compt. Rend. T. 91. S. 49. — Gaz. méd. No. 30.

435. — *Sur la sensibilité visuelle et ses rapports avec la sensibilité lumineuse et la sensibilité chromatique.* Compt. rend. Bd. 91. No. 26. S. 1075. Gaz. méd. de Paris. 1881. No. 2.

436. — *Sur la sensibilité différentielle de l'oeil pour de petites surfaces lumineuses.* Compt. Rend. Bd. 91. S. 240.

437. — *Sur les variations de la sensibilité lumineuse suivant l'étendue des parties rétiniennes excitées.* Compt. Rend. T. 91. S. 995.

438. Heuse. *Eine Beobachtung über das Eigenlicht der Macula lutea.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (3.) S. 147.

1881.

439. F. Boas. *Ueber eine neue Form des Gesetzes der Unterschiedsschwelle.* Pflüger's Arch. Bd. 26. S. 493.

440. E. v. Brücke. *Ueber einige Consequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie.* 2. Abh. Wien. Acad. Ber. Bd. 84. (3.) S. 425—458.

441. Ole B. Bull. *Studien über Lichtsinn und Farbensinn.* Arch. f. Ophth. XXVII. (1.) S. 54.

442. W. Dobrowolsky. *Ueber die Veränderung der Empfindlichkeit des Auges gegen Spectralfarben bei wechselnder Lichtstärke derselben.* Arch. f. d. ges. Physiol XXIV. S. 189—202. — Russisch in Klinitscheskaja Gazeta. No. 3 u. 4.

443. J. Macé de Lépinay et W. Nicati. *Héméralopie et torpeur rétinienne, deux formes opposées de daltonisme.* Compt. Rend. Bd. 92. No. 24. S. 1412. Gaz. méd. de Paris. No. 27. S. 387.

444. H. Parinaud. *De l'héméralopie dans les affections du foie et de la nature de la cécité nocturne.* Arch. génér. de méd. April. S. 403—414.

445. — *L'héméralopie et les fonctions du pourpre visuel.* Compt. Rend. Bd. 93. No. 5. S. 286. — Gaz. méd. de Paris. No. 34. S. 484.

446. H. Schmidt-Rimpler. *Hemeralopie.* Eulenburg's Real-Encyclop. d. ges. Heilkde. VI. S. 400—402.

1882.

447. E. Albert. *Ueber die Aenderungen des Farbentones von Spectralfarben und Pigmenten bei abnehmender Lichtstärke.* Wiedem. Ann. XVI. S. 129.

448. Bayer. *Ueber Mondblindheit.* Wien. Med. Bl. Bd. IV. No. 21. — Sitzgs.-Ber. d. k. k. Ges. d. Aerzte. S. 645.

449. Berry. *On a practical test for the light sense.* Ophthalm. Rev. London I. S. 175.

450. F. Boas. *Die Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit nach der Methode der übermerklichen Unterschiede.* Pflüger's Arch. Bd. 28. S. 562.

451. — *Ueber die Grundaufgabe der Psychophysik.* Pflüger's Arch. Bd. 28. S. 566.

452. — *Ueber die verschiedenen Formen des Unterschiedsschwellenwerthes.* Pflüger's Arch. Bd. 27. S. 214.

453. — *Ueber die Berechnung der Unterschiedsschwellenwerthe nach der Methode der richtigen und falschen Fälle.* Pflügers Arch. Bd. 28. S. 84.

454. A. Charpentier. *Note complémentaire relative à l'influence de la surface sur la sensibilité lumineuse.* Arch. d'ophthalm. S. 487.

455. G. Th. Fechner. *Revision der Hauptpunkte der Psychophysik.* Leipzig.

456. J. v. Kries. *Ueber die Messung intensiver Gröfsen und über das sog. psychophysische Gesetz.* Vierteljahrsschr. f. wissensch. Philos. VI. S. 257—294.

1883.

457. J. Bjerrum. *Untersuchungen über den Formen- und Lichtsinn.* Diss. Kopenhagen.

458. A. Charpentier. *Nouvelles recherches sur la perception des différences de clarté.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 1373.

459. — *Influence de la couleur sur la perception des différences de clarté.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 1431.

460. Delboeuf. *Examen critique de la loi psychophysique.* Paris.

5461. W. Waldhauer. *Untersuchungen betr. die untere Reizschwelle Farbenblinder.* Dorpat. 64 S.

1884.

5462. J. Bjerrum. *Lichtsinnuntersuchungen.* Dtsch. med. Wochenschr. S. 705.
5463. A. Charpentier. *Recherches sur la perception des différences de clarté.* Arch. d'Ophthalm. S. 400.
5464. — *La perception des différences successives de l'éclairage.* Compt. Rend. Bd. 99. S. 87.
5465. O. E. Erdmann. *Ueber ungleiche Ermüdung centraler und peripherischer Theile der Netzhaut.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. April u. Mai. S. 120.
5466. R. Hilbert. *Ortsbestimmung derjenigen Zone der Retina, in welcher lichtschwache Objecte am deutlichsten wahrgenommen werden.* Fortschr. d. Med. No. 24. S. 796.
5467. E. Miéville. *Nouvelle méthode de détermination quantitative du sens lumineux et chromatique.* Arch. d'ophthalm. März-April.
5468. H. Parinaud. *Sur la sensibilité visuelle.* Compt. Rend. Bd. 99. S. 241.
5469. Samelsohn. *Lichtsinnuntersuchungen.* Dtsch. med. Wochenschr. S. 705.
5470. H. Schmidt-Rimpler. *Commotio retinae. Herabsetzung des Lichtsinnes.* Klin. Monatsbl. Bl. f. Augenheilkde. XII. Juni.
5471. L. Wolffberg. *Ueber Prüfung des centralen und peripheren Lichtsinnes.* Sitzgs.-Ber. d. physik.-med. Soc. zu Erlangen vom 12. Mai. — Ztschr. f. Instr.-Kde. IV. S. 420.

1885.

5472. Breton. *Mesure expérimentale de l'intensité des sensations lumineuses en fraction des quantités de lumière.* Ass. franç. Grenoble. XIV. (1.) S. 103—104. (2.) S. 226—246.
5473. A. Charpentier. *Sur la mesure de l'intensité des sensations, en particulier des sensations colorées.* Compt. Rend. Bd. 100. S. 1248—1251.
5474. — *Relation entre la sensibilité lumineuse et l'éclairage ambiant.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. II. S. 475.
5475. — *La perception différentielle dans le cas des éclairages ordinaires.* Compt. Rend. Bd. 100. S. 361—362.
5476. — *La perception lumineuse simultanée.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. II. S. 336
5477. J. Hirschberg. *Ueber Gelbsehen und Nachtblindheit der Icterischen.* Berl. klin Wochenschr. No. 23.
5478. E. Kraepelin. *Zur Frage der Gültigkeit des Weberschen Gesetzes bei Lichtempfindungen.* Philos. Stud. II. S. 306—327. Nachtrag. S. 651—655.
5479. J. v. Kries u. Brauneck. *Ueber einen Fundamentalsatz aus der Theorie der Gesichtsempfindungen.* du Bois' Arch. S. 79—84.
5480. L. Roy. *Examen du sens de la lumière d'après une méthode basée sur la dépendance du sens des couleurs vis-à-vis le sens de la lumière.* Rev. clin. d'ocul. V. S. 113.
5481. Th. Treitel. *Ueber Hemeralopie und Untersuchung des Lichtsinnes.* Arch. f. Ophthalm XXXI. (1.) S. 139.
5482. — *Eine neue Methode der numerischen Bestimmung des Lichtsinnes.* Centralbl. f. prakt Augenhlkde. Januar.
5483. — *Tafeln zur numerischen Bestimmung des Lichtsinnes.* Königsberg i. Pr.
5484. L. Wolffberg. *Ueber die Prüfung des Lichtsinnes.* Gräfe's Arch. XXXI. (1.) S. 1—78
5485. — *Demonstration eines Apparates zur centralen und perimetrischen Lichtsinnprüfung* Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. 1885.
5486. W. Wundt. *Ueber das Webersche Gesetz.* Wundt's Stud. Bd. II. S. 1—36.

1886.

5487. Berry. *Day-blindness.* Edinb. med. Journ. XXXI. S. 1030.
5488. — *Night-blindness.* Edinb. med. Journ. XXXI. S. 1025.
5489. J. Bjerrum. *Bemärkning i anledning af en passus i Dr. Philipsen's Artikel om klarhedssans. (Bemerkung wegen Dr. P.'s Abhandlung über den Lichtsinn.)* Hosp. Tid. No. 36 S. 851.
5490. A. Charpentier. *La sensibilité lumineuse et l'adaption rétinienne.* Arch. d'ophthalm. S. 196
5491. — *Faits complémentaires relatifs à l'intensité des sensations lumineuses.* Arch d'ophthalm. S. 289.
5492. A. Elsas. *Ueber die Psychophysik.* Marburg.
5493. R. Hilbert. *Ueber die Erkenntlichkeit der Farben bei herabgesetzter Beleuchtung* Memorab. Heft 1.
5494. A. Köhler. *Ueber die hauptsächlichsten Versuche einer mathematischen Formulirung des psychophysischen Gesetzes von Weber.* Wundt's Stud. III. S. 572.

495. A. Lehmann. *Ueber die Anwendung der Methode der mittleren Abstufungen auf den Lichtsinn.* Philos. Stud. III. S. 497—533.

496. H. Philipsen. *Undersögelse af öjets klarhedssans og denne undersögelses kliniske betydning og omraade. (Die Untersuchung des Lichtsinnes und ihre klinische Bedeutung.)* Hosp. Tid. No. 33—34.

1887.

497. Breton. *Mesure des sensations lumineuses en fonction des quantités de lumière.* Compt. Rend. Bd. 105. S. 426.

498. A. Charpentier. *Nouveaux faits sur la sensibilité lumineuse.* Arch. d'Ophthalm. VII. S. 13.

499. H. Ebbinghaus. *Die Gesetzmäfsigkeit des Helligkeitscontrastes.* Sitzgs.-Ber. d. Acad. d. Wiss. zu Berlin. S. 994.

500. G. Th. Fechner. *Ueber die psychischen Maafsprincipien und das Weber'sche Gesetz.* Wundt's Philos. Studien. IV. S. 161—230.

501. E. Hering. *Ueber Newton's Gesetz der Farbenmischung.* Lotos. VII. S. 177. — Sep. Leipzig, Freytag. 92 S.

502. H. Neiglick. *Zur Psychophysik des Lichtsinnes.* Wundt's Philos. Stud. IV. S. 28—111.

503. — *Sur quelques rapports entre la loi de Weber et les phénomènes de contraste lumineux.* Rev. Philos. Paris. XXIV. S. 180.

504. Seggel. *Sehprobentafeln zur Prüfung des Lichtsinnes.* Ber. d. XIX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. Beil. zu klin. Monatsbl. f. Augenhlkde. XXV. S. 202—204.

505. Th. Treitel. *Ueber das Verhalten der normalen Adaptation.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. (2.) S. 73.

506 — *Ueber das Wesen der Lichtsinnstörung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. (1.) S. 31.

507. L. de Wecker u. Masselon. *Échelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle, le sens chromatique et le sens lumineux.* Paris, Doin. 64 S.

508. W. Wundt. *Bemerkungen zu Neiglick's Aufsatz: Zur Psychophysik des Gesichtssinnes.* Philos. Stud. IV. S. 112—116.

1888.

509. H. Ebert. *Ueber den Einflufs der Schwellenwerthe der Lichtempfindung auf den Character der Spectra.* Wiedem. Ann. XXXIII. S. 136—155.

510. A. E. Fick. *Studien über Licht und Farbenempfindung.* Pflüger's Arch. f. die ges. Physiol. XLIII. S. 441.

511. A. König u. E. Brodhun. *Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel in Bezug auf den Gesichtssinn.* Sitzgs.-Ber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin. S. 917—931.

512. S. P. Langley. *Energy and vision.* Americ. Journ. of sc. XXXVI. S. 359.

513. A. Meinong. *Ueber Sinnestäuschung. Belege des Weber'schen Gesetzes.* Vierteljahresschr. f. wiss. Philos. XII. S. 1—31.

514. J. Merkel. *Die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung.* Wundt's Philos. Stud. IV. S. 541—595. V. S. 245—291, 499—557. (1889.)

515. H. Parinaud. *Echelle optométrique, acuité visuelle, perception de la lumière et des couleurs.* Paris, Roulot.

516. Segal, S. *Ueber die Lichtempfindlichkeit der Netzhaut und eine einfache Methode zu deren Bestimmung.* (Russisch.) Russk. Mediz. No. 1 u. 2.

517. Seggel. *Sehproben-Tafeln zur Prüfung des Lichtsinnes.* München. Litter.-artist. Anstalt.

1889.

518. V. Basevi. *Influenza dell' adattamento sulla sensibilità retinica per la luce e per i colori:* Ann. di Ottalm. XVII. S. 475.

519. H. Ebbinghaus. *Ueber den Grund der Abweichungen von dem Weber'schen Gesetz bei Lichtempfindungen.* Pflügers Arch. XLV. S. 113.

520. H. Ebert. *Bemerkungen zu Herrn Langley's Aufsatz „Energy and vision".* Wiedemanns Ann. XXXVI. (2.) S. 592.

521. G. Th. Fechner. *Elemente der Psychophysik.* 2. unveränd. Aufl., m. Hinweis auf d. Verf. spät. Arb. u. e. chronologisch geordneten Verzeichnis seiner sämmtl. Schriften. 2 Teile. Hrsgb. v. W. Wundt. Breitkopf & Härtel. Leipzig. 346 u. 571 S.

522. H. v. Helmholtz. *Ueber das Eigenlicht der Netzhaut.* Verhandl. d. Physik. Ges. zu Berlin. VII. 13. S. 85.

523. A. König und E. Brodhun. *Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel in Bezug auf den Gesichtssinn.* (2. Mitth.) Sitzgs.-Ber. d. Berl. Akad. d. Wiss. S. 641—644.

5524. S. P. Langley. *Energy and Vision.* Philos. Mag. Jan. 1889. S. 1. — Ann. d. Chim. et de Phys. XVII. 5. S. 62.
5525. F. C. Müller-Lyer. *Psychophysische Untersuchungen.* Du Bois-Reymond's Arch. Suppl. S. 91—141.
5526. O. Murani. *Ricerche sperimentali sulla legge psicofisica di Fechner.* Rend. Lomb. (2.) XXII. S. 542.
5527. P. Tannery. *Philosophie mathématique.* Rev. Philos. XXVII. S. 73—82.
5528. Th. Treitel. *Ueber den Lichtsinn der Netzhautperipherie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (1.) S. 50—75.

1890.

5529. V. Basevi. *Influenza dell'adattamento sulla sensibilita retinica per la luce e per i colori.* Ann. di Ottalm. XVIII. S. 475.
5530. H. Ebbinghaus. *Ueber negative Empfindungswerthe.* Zeitschr. f. Psychol. I. S. 320 bis 334, 463—485.
5531. G. Th. Fechner. *Briefe über negative Empfindungswerthe.* Herausg. v. W. Preyer. Zeitschr. f. Psychol. I. S. 29—46, 108—120.
5532. H. v. Helmholtz. *Die Störung der Wahrnehmung kleinster Helligkeitsunterschiede durch das Eigenlicht der Netzhaut.* Zeitschr. f. Psychol. I. S. 5—17.
5533. G. Itelson. *Zur Geschichte des psychophysischen Problems.* Arch. f. Gesch. d. Philos. III. S. 282—290.
5534. M. Radaković. *Ueber Fechner's Ableitungen der psychophysischen Mafsformel.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XIV. S. 1—26.
5535. O. Schirmer. *Ueber die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für den Lichtsinn.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. 4. S. 121—149.

1891.

5536. W. de W. Abney. *On the limit of visibility of the different rays of the spectrum.* Preliminary Note. Proceed. of the Roy. Soc. XLIX. S. 509—518.
5537. Bjerrum, J. *Eine Bemerkung über den Helligkeitssinn.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 37. (3.) S. 261—262.
5538. H. Ebbinghaus. *Ein Mifsverständniss.* Zeitschr. f. Psychol. II. S. 335—336.
5539. H. v. Helmholtz. *Versuch, das psychophysiche Gesetz auf die Farbenunterschiede trichromatischer Augen anzuwenden.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 1—20.
5540. — *Versuch einer erweiterten Anwendung des Fechnerschen Gesetzes im Farbensystem.* Zeitschr. f. Psychol. II. S. 1—30.
5541. — *Kürzeste Linien im Farbensystem.* Sitzgs.-Ber. der Berl. Akad. S. 1071—1083.
5542. E. Lindemann. *Ueber eine von Prof. Ceraski angedeutete persönliche Gleichung bei Helligkeitsvergleichungen der Sterne.* Bull. de l'Acad. d. Sc. de St. Petersbourg. Bd. 24 (1.) S. 77—82.

1892.

5543. O. Schirmer. *Ueber die Adaptation im gesunden und kranken Auge.* Verhandl. de X. internat. Kongresses. IV. S. 58.
5544. Schtschepotiew. *Beiträge zur Lehre über die Hemeralopie.* Wratsch. No. 44.
5545. A. Stefanini. *Sulle leggi psicofisiche di Fechner e di Plateau.* Il Nuovo Cimento (3.) XXXI. 5/6. S. 235
5546. Th. Wertheim. *Eine Beobachtung über das indirekte Sehen.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 172—174.
5547. Chr. Wiener. *Die Empfindungseinheit zum Messen der Empfindungsstärke.* Wiedem. Ann. Bd. 47. S. 659—670.
5548. — *Die Zerstreuung des Lichtes durch matte Oberflächen und die Empfindungseinheit zum Messen der Empfindungsstärke.* In: Festschrift der Technischen Hochschule zu Karlsruhe.

1893.

5549. W. de W. Abney. *The sensitiveness of the eye to light and colour.* Nature. Vol. XLVII S. 538—542.
5550. E. Brodhun *Die Gültigkeit des Newtonschen Farbenmischungsgesetzes bei dem sog. grünblinden Farbensystem.* Zeitschr. f. Psychol. V. S. 323—334.
5551. Ch. Henry. *Sur le minimum perceptible de lumière.* Compt. Rend. Bd. 116. (3 S. 96—98.
5552. R. Katz. *Beitrag zum Studium der peripherischen Lichtempfindlichkeit des Auges.* (Russisch.) Westn. Ophthalm. Juli-Octbr.

553. R. Katz. *Apparat zur klinischen Prüfung der Lichtempfindlichkeit des Auges.* (Russisch.) Wratsch. No. 9.

554. — *Apparat zur numerischen Bestimmung der centralen und peripheren Lichtempfindlichkeit des Auges (Lichtsinn-Perimeter).* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. März. S. 73—75.

555. K. Marbe. *Die Schwankungen der Gesichtsempfindungen.* Wundt's Philos. Stud. Bd. VIII. S. 615—637.

556. K. Petrèn. *Untersuchungen über den Lichtsinn.* Skand. Arch. f. Physiol. IV. S. 421—447.

1894.

557. A. Catania. *Sull' essenza dell' emeralopia.* Arch. di Ottalm. I. 8/9.

558. K. Degenkolb. *Versuche über den Einflufs einiger Genufsmittel auf das Vermögen des Auges, feine Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen.* Diss. Tübingen 1894.

559. H. Dreser. *Ueber die Beeinflussung des Lichtsinnes durch Strychnin.* Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmakol. XXXIII. 2/3. S. 251—260.

560. P. L. Gray. *The Minimum Temperature of Visibility.* Philos. Mag. XXXVII. No. 229. S. 549—557.

561. W. A. Holden. *Die Prüfung des Lichtsinnes in der Peripherie der Retina zu diagnostischen Zwecken.* Arch. of Ophthalm. XXIII. S. 40—49. Abgekürzte Uebers. Arch. f. Augenheilkde. XXX. 1. S. 57—61.

62. Mislawsky. *Apparat zur Untersuchung der Empfindlichkeit der Retina für Helligkeitsdifferenzen.* Wratsch. No. 16.

63. Romano. *Ueber das Wesen der Hemeralopie.* Arch. di Ottalm. I. S. 5—9.

64. L. W. Stern. *Die Wahrnehmung von Helligkeitsveränderungen.* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 249—278 u. 395—397.

2. Isochrome und heterochrome Photometrie.

1775.

65. W. J. G. Karsten. *Untersuchungen über die ersten Gründe der Photometrie.* Münchener Akad. IX.

1814.

66. J. Fraunhofer. *Bestimmung des Brechungs- und des Farbenzerstreuungsvermögens verschiedener Glasarten in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre.* Denkschr. der bayr. Akad. V. S. 211.

1825.

67. Purkinje. *Zur Physiologie der Sinne.* II. S. 109.

1852.

68. *H. W. Dove. *Ueber den Einflufs der Helligkeit einer weifsen Beleuchtung auf die relative Intensität verschiedener Farben.* Berl. Monatsber. S. 69—78. Pogg. Ann. LXXXV. S. 397—408. Inst. 1852. S. 193. Phil. Magaz. (4.) IV. S. 246—249. Arch. d. sc. phys. XXI. S. 215—219. Cosmos. I. S. 208—211.

69. Pouillet. Compt. Rend. XXXV. S. 373—379. Pogg. Ann. LXXXVII. S. 490—498. Inst. S. 301. Cosmos. I. S. 546—549.

1854.

70. J. J. Oppel. *Ueber den Einflufs der Beleuchtung auf die relative Lichtstärke verschiedener Farben.* Jahresber. des Frankf. Vereins. 1853—54. S. 44—49.

1855.

71. H. Helmholtz. *Ueber die Zusammensetzung von Spectralfarben.* Pogg. Ann. XCIV. S. 18—21.

1862.

72. H. Aubert. *Ueber subjective Lichterscheinungen.* Pogg. Ann. CXVII. S. 638—641.

1863.

3. v. Wittich. *Ueber die geringsten Ausdehnungen, welche man farbigen Objecten geben kann, um sie noch in ihrer specifischen Farbe wahrzunehmen.* Königsberger Med. Jahrbücher. IV. S. 23—55.

4. A. W. Volkmann. *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Heft 1. Leipzig.

1869.

5. F. A. Keller. *Ueber die ungleiche Sichtbarkeit der Farben bei Dämmerlicht und die ungleiche photographische Arbeit derselben bei hellem Tageslicht.* Polyt. C. B. S. 1395. Compt. Rend. Bd. 69. S. 278—280.

5576. K. Vierordt. *Beschreibung einer photometrischen Methode zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes.* Pogg. Ann. Bd. 137. S. 200.

1870.

5577. A. v. Hippel. *Ueber ein Photometer.* Berl. klin. Woch. S. 424.

5578. Landsberg. *Des effets de la lumière des lampes sur la vue.* Bull. d'encourag des sc. S. 310.

5579. K. Vierordt. *Die Messung der Lichtabsorption durchsichtiger Medien mittelst des Spektralapparats.* Pogg. An. Bd. 140. S. 172.

1871.

5580. K. Vierordt. *Die Anwendung des Spectralapparates zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes.* Tübingen.

1872.

5581. W. Dobrowolsky. *Ueber gleichmäfsige Ab- und Zunahme der Lichtintensität verschiedener Spectralfarben bei gleichmäfsiger Ab- und Zunahme der Lichtstärke des Gesammtlichtes.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 92—98.

5582. H. Helmholtz. *Ueber Versuche des Herrn Dobrowolsky, die Empfindlichkeit des Auges gegen Unterschiede der Lichtintensität verschiedener Spektralfarben betreffend.* Monatsber. d. Berl. Akad. Sitz. v. 19. Febr. 1872. S. 119—122.

1873.

5583. Yvon. *Ein auf die Reliefempfindung gegründetes Photometer.* Pogg. Ann. Bd. 148. S. 334. Compt. Rend. T. 75. S. 1102.

1874.

5584. C. Bohn. *Photometrische Untersuchungen.* (*Helligkeit der Farben, Unterschiedsempfindlichkeit, Grenzen der Farbenempfindung u. A.*) Pogg. Ann. Ergänzungsbd. VI. S. 386.

5585. v. Zahn *Ueber die photometrische Vergleichung verschiedenfarbiger Lichtquellen.* Sitzgs.-Ber. d. Naturf. Ges. zu Leipzig. No. 3 u. 4.

1875.

5586. W. Dobrowolsky. *Ueber die Empfindlichkeit des Auges für Lichtstärke der Farben im Centrum und auf der Peripherie der Netzhaut.* (Russisch.) Petersb. Med. Anz. No. 31—35.

5587. — *Ueber die Empfindlichkeit des Auges gegen die Lichtintensität der Farben (Farbensinn) im Centrum und auf der Peripherie der Netzhaut.* Pflüger's Arch. Bd. XII. S. 441—471.

1876.

5588. Gouy. *Recherches photométriques sur les flammes colorées.* Compt. Rend. Bd. 83. S. 269—272.

5589. Trannin. *Photometrische Messungen in den verschiedenen Theilen des Spectrums.* Journ. de phys. théor. et prat. V. S. 297.

1877.

5590. A. Charpentier. *Nouvel instrument pour l'exploration de la sensibilité rétinienne.* Gaz. Méd. de Paris.

5591. A. Riccò. *Relazione fra il minimo angolo visuale e l'intensità luminosa.* Atti dell. R. Accad. di sc. di Modena. VIII. § 3.

5592. S. P. Thompson. *On the relative apparent brightness of objects in binocular and monocular vision.* Rep. Brit. Assoc. f. the advanc. of Sc.

1878.

5593. E. Brücke. *Ueber einige Empfindungen im Gebiete des Sehnerven.* Wien. Ber. Bd. 77. Abth. 3.

5594. O. N. Rood. *On the photometric comparison of light of different colours.* Sill. Journ. 3. XV. S. 81.

1879.

5595. A. Charpentier. *Sur la sensibilité de l'oeil à l'action de la lumière colorée, plus ou moins additionnée de lumière blanche et sur la photométrie des couleurs.* Gaz. méd. No. 9. — Compt. Rend. Bd. 88. S. 299.

1880.

5596. J. W. Draper. *On a new standard of light.* Phil. Mag. (5.) IX. S. 76. — Journ. asiat. Soc. of Bengal. XLVIII. S. 83—94.

5597. J. Macé de Lépinay et W. Nicati. *Etude sur la distribution de la lumière dans le spectre solaire.* Compt. Rend. Bd. 91. S. 623—625.

598. J. Macé de Lépinay et W. Nicati. *De la distribution de la lumière dans le spectre solaire (spectre des Daltoniens).* Compt. Rend. Bd. 91. S. 1078—1080. Rev. méd. franç. et étrang. 15. Jan. 1881.

599. Napoli. *Un nouveau photomètre.* Séances de la Soc. franç. de Physique, séance du 19. mars.

600. L. Schwendler. *Eine neue Lichteinheit.* Journ. asiat. Soc. of Bengal. 48. S. 83 bis 94. (1879.) — Beibl. z. d. Ann. d. Phys. u. Chem. IV. 4. S. 280.

1881.

601. O. Becker. *Ueber heterochrome Photometrie.* Ber. üb. d. XIII. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. (Rostock.) S. 167—172.

602. E. v. Brücke. *Ueber einige Consequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie.* (2. Abh.) Wien. Akad. Ber. Bd. 84 (3.) S. 425—458.

603. A. Charpentier. *Sur la sensibilité visuelle dans ses rapports avec la sensibilité lumineuse et la sensibilité chromatique.* Gaz. d. Hôpit. No. 2. S. 21. — The Med. Record. 16. April.

604. — *Sur la quantité de lumière nécessaire pour percevoir la couleur d'objets de différentes surfaces.* Compt. Rend. Bd. 92. No. 2. S. 92—94. Rev. méd. No. 9.

605. — *Remarques sur la sensibilité de l'oeil aux différences de lumière successives.* Arch. d'ophthalm. franç. I. No. 2. S. 152—156.

606. A. Crova. *Comparaison photométrique des sources lumineuses de teintes différentes.* Compt. Rend. Bd. 93. No. 13. S. 512.

607. — *Etude sur les spectrophotomètres.* Compt. Rend. Bd. 92. No. 1. S. 36.

608. A. Crova u. Lagarde. *Détermination du pouvoir éclairant des radiations simples.* Compt. Rend. Bd. 93. No. 23. S. 959—961. Journ. de phys. (2.) I. S. 162—169. (1882.)

609. W. Dobrowolsky. *Ueber die Veränderung der Empfindlichkeit des Auges gegen Spektralfarben, bei wechselnder Lichtstärke derselben.* Pflüger's Arch. XXIV. S. 189—202.

610. H. Krüss. *Photometer und Helligkeitsmessungen.* Centralztg. f. Opt. u. Mechan. No. 1, 2, 3.

611. S. P. Langley. *Ueber die Vertheilung der Energie im normalen Sonnenspectrum.* Compt. Rend. Bd. 92. S. 701—703. Bd. 93. S. 140—143.

612. J. Macé de Lépinay u. W. Nicati. *Recherches sur la comparaison photométrique des diverses parties d'un même spectre.* Ann. de Chim. et de Phys. (5). XXIV. S. 289—336.

1882.

613. A. Charpentier. *Etude de l'influence de la coloration sur la visibilité des points lumineux.* Arch. d'ophthalm. S. 542.

614. — *Sur la visibilité des points lumineux.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 148.

615. — *Déscription d'un photoptomètre différentiel.* Arch. d'Ophthalm. S. 418.

616. H. Cohn. *Ueber Farbenempfindungen bei schwacher künstlicher Beleuchtung.* Arch. f. Augenheilkde. Bd. 11. S. 283.

617. J. Kramer. *Untersuchungen über die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Art und dem Grade der Beleuchtung.* Dissert. Marburg.

618. J. Macé de Lépinay et W. Nicati. *Recherches expérimentales sur le phénomène de Purkinje.* Journ. de Phys. (2.) I. S. 33. — Crón. cicat. Barcelona. V. S. 241.

619 — *Relation entre la loi de Bouguer-Masson et le phénomène de Purkinje.* Compt. Rend. Bd. 94. S. 785.

620. Rosenstiehl. *De l'intensité relative des couleurs.* Séances de la Soc. franç. de Phys. April-Juli. S. 103.

621. — *De l'emploi des disques tournants pour l'étude des sensations colorée: intensité relative des couleurs.* Compt. rend. T. 94. S. 1411.

1883.

622. H. Aubert. *Die Helligkeit des Schwarz und Weifs.* Pflüger's Arch. XXXI. S. 223.

623. Convoy. *A new Photometer.* Philos. Mag. S. 423.

624. A. Crova. *Déscription d'un spectrophotomètre.* Ann. de Chim. et Phys. S. 556.

625. J. Macé de Lépinay. *Sur une méthode pratique pour la comparaison photométriquedes sources usuelles diversement colorés.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 1428.

626. Sabine. *On a Wedge- and Diaphragm-Photometer.* Philos. Mag. Januar. S. 22.

5627. L. Weber. *Mittheilung über einen photometrischen Apparat.* Wiedem. Ann. XX. S. 326.
5628. H. Wild. *Ueber die Umwandlung meines Photometers in ein Spectrophotometer.* Wiedem. Ann. XX. S. 452.

1884.

5629. O. B. Bull. *Untersuchungen über Lichtperception und Photometrie.* Dtsch. med. Wochenschr. S. 705.
5630. A. Charpentier. *Note additionnelle relative à une modification de mon photomètre différentiel.* Arch. d'Ophthalm. S. 307.
5631. A. Crova. *Sur un photomètre à diffusion.* Compt. Rend. Bd. 99. S. 1115.
5632. J. v. Kries. *Bemerkungen zu der Arbeit von Aubert „Die Helligkeit des Schwarz und Weifs".* Pflüger's Arch. XXXIII. S. 248.
5633. Macé de Lépinay et W. Nicati. *Recherches sur la comparaison photométrique des diverses parties d'un même spectre.* Ann. de Chim. et Phys. (5.) XXX. S. 145.
5634. H. Parinaud. *De l'intensité lumineuse des couleurs spectrales; influence de l'adaptation rétinienne.* Compt. rend. Bd. 99. S. 937.
5635. W. H. Preece. *On a new standard of illumination and the measurement of light.* Proceed. of the Roy. Soc. London. Bd. 36. S. 270.
5636. L. Weber. *Die photometrische Vergleichung ungleichfarbiger Lichtquellen.* Elektrotechn. Zeitschr. April.
5637. W. Zenker. *Das neue Spektrophotometer von Crova, verglichen mit dem von Glan, nebst einem Vorschlag zur weiteren Verbesserung beider Apparate.* Zeitschr. f. Instrumentenkde. IV. S. 83—87.

1885.

5638. A. Charpentier. *Sur la distribution de l'intensité lumineuse et de l'intensité visuelle dans le spectre solaire.* Compt. Rend. Bd. 101. S. 182.
5639. J. Joly. *On Photometers made of solid paraffin or other translucent substances.* Scient. Proc. Roy. Dublin. Soc. Vol. IV. (7.) S. 345—346.
5640. Wm. E. Warrand. *Black and White.* Nature. XXXII. S. 245.

1886.

5641. W. de W. Abney und E. R. Festing. *Colour Photometry.* Proceed. of the Roy. Soc. of London. XLI. S. 238.
5642. — *Colour Photometry.* Philos. Transact. Vol. 177. S. 423—456.
5643. H. Armaignac. *Ecran graduateur de la lumière.* Rev. clin. d'Ocul. No. 1. S. 5.
5644. A. Charpentier. *Sur une condition physiologique influençant les mesures photométriques.* Compt. Rend. Bd. 103. S. 130—131.
5645. — *L'intensité des sensations lumineuses.* Arch. d'Ophthalm. V. S. 27.
5646. G. Colasanti und G. Mengarini. *Il fenomeno spectrale fisiologico.* Lincei Mem. (4.) III. S. 65—77.
5647. A. König. *Ueber einige neue Photometer.* Verhandl. d. Physik. Ges. zu Berlin. 22. Jan.

1887.

5648. E. Brodhun. *Beiträge zur Farbenlehre.* Diss. Berlin.
5649. E. Lommel. *Die Photometrie der diffusen Zurückwerfung.* Münch. Acad. Ber. S. 95—132.
5650. *De la quantité de la lumière nécessaire à la vision normale.* Bull. internat. de l'électr. Heft 7.

1888.

5651. W. de W. Abney und E. R. Festing. *Colour Photometry.* Proceed. of the Roy. Soc. XLIV. S. 237.
5652. — *Colour Photometry.* Philos. Transact. Vol. 179.
5653. A. Kirschmann. *Ein photometrischer Apparat zu psychophysischen Zwecken.* Wundt's Philos. Stud. V. S. 292—300.
5654. A. Lehmann. *Ueber Photometrie mittelst rotirender Scheiben.* Philos. Stud. IV. S. 231—240.

1889.

5655. W. de W. Abney. *On the measurement of the luminosity and intensity of light reflected from coloured surfaces.* Philos. Mag. (5.) XXVII. No. 164. S. 62—69.
5656. F. Hillebrand. *Ueber die specifische Helligkeit der Farben (mit Vorbemerkungen von E. Hering).* Sitzgs.-Ber. d. k. Acad. d. Wiss. in Wien. Bd. 98. Abth. 3 (1—4.) S. 70—120.

5657. A. Kirschmann. *Ueber die Helligkeitsempfindung im indirecten Sehen.* Philos. Stud. V. S. 447—497.

5658. O. Lummer und E. Brodhun. *Photometrische Untersuchungen. I. Über ein neues Photometer.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. S. 41—50. *II. Lichtmessung durch Schätzung gleicher Helligkeitsunterschiede, Contrastphotometer.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. IX. 12. S. 461—465.

5659. — *Ersatz des Photometerfleckes durch eine rein optische Vorrichtung.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. IX. 2. S. 23—25. Naturw. Rundsch. IV. 7. S. 81.

1890.

660. E. Brücke. *Ueber zwei einander ergänzende Photometer.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. X. S. 11—16.

661. G. Mengarini. *Ueber das Maximum der Lichtstärke im Sonnenspectrum.* Moleschott's Unters. XIV. 2. S. 119.

1891.

662. A. König. *Ueber den Helligkeitswerth der Spectralfarben bei verschiedener absoluter Intensität.* Nach gemeinsam mit R. Ritter ausgeführten Versuchen. In: Beiträge zur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane. Helmholtz-Festschr. S. 309 bis 388. — Auch separat. Hamburg. L. Voss.

1892.

663. W. de W. Abney and E. R. Festing. *Colour Photometry.* Phil. Transact. Vol. 183. S. 531—565.

664. J. H. Lambert. *Photometrie (Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae 1760).* Deutsch herausgegeben von E. Anding. Erstes Heft (Theil I und II). 135 S. mit 35 Fig. Zweites Heft (Theil III, IV und V) 112 S. m. 32 Fig. Drittes Heft (Theil VI und VII) 172 S. mit 8 Fig. W. Engelmann. Leipzig.

665. E. W. Lehmann. *Ueber ein Photometer.* Dissert. Erlangen. 24 S.

666. O. Lummer und E. Brodhun. *Photometrische Untersuchungen. V. Über ein neues Spektralphotometer.* Zeitschr. f. Instrumentenkde. S. 133—140.

667. A. Palaz. *Traité de photométrie industrielle spécialement appliquée à l'éclairage électrique.* 280 S. Georges Carré, Paris.

668. M. Sachs. *Ueber den Einfluſs farbiger Lichter auf die Weite der Pupille.* Pflüger's Arch. Bd. 52. S. 79—86.

669. Ch. Wiener. *Die Empfindungseinheit zum Messen der Empfindungsstärke.* Wied. Ann. Bd. 47. S. 659—670.

1893.

70. E. Gruber. *Untersuchungen über die Helligkeit der Farben.* Wundt's Philos. Stud. IX. S. 429—446.

71. A. A. Mayer. *Studies of the Phenomena of Simultaneous Contrast Colour, and on a Photometer for Measuring the Intensities of Lights of different Colours.* Philos. Mag. XXXVI. No. 219. S. 153—175. Americ. Journ. of sc. Vol. XLVI. July.

72. O. N. Rood. *On a photometric method which is independent of colour.* Americ. Journ. of Sc. Vol. XLVI. S. 173—176.

73. M. Sachs. *Eine Methode der objectiven Prüfung des Farbensinnes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIX. 3. S. 108—125.

74. S. P. Thompson. *Some Notes on Photometry.* Philos. Mag. (5.) XXXVI. S. 120—129.

75. A. P. Trotter. *A new Photometer.* Philos. Mag. (5.) XXXVI. No. 218. S. 82—88.

3. Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtung.

1858.

76. A. C. Twining. *The relation of illumination to magnifying power, when visibility is maintained.*

1861.

77. H. Aubert. *Beiträge zur Physiologie der Netzhaut.* Abhandl. d. schles. Ges. S. 49—103.

1872.

78. Klein. *De l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle.* Paris. 108 S. Ausz. in Journ. de l'Anat. et Physiol. 1873. 3. S. 317—325.

1876.

5679. E. Carp. *Ueber die Abnahme der Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung nebst einer neuen Methode, den Lichtsinn zu messen.* Marburg.

5680. W. Doerinckel. *Ueber die Abnahme der Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung.* Marburg.

5681. A. Posch. *Ueber Sehschärfe und Beleuchtung.* Arch. f. Augen- u. Ohrenhlkde. V. S. 14.

1877.

5682. E. Javal. *Mesure de l'acuité visuelle en tenant compte de l'éclairage.* Gaz. hebdom. S. 398. Gaz. d. Hôpit. S. 509. Gaz. Méd. S. 337.

5683. A. Riccò. *Relazione fra il minimo angolo visuale e l'intensità luminosa.* Annal. d'Ottalm. Ann. VI. f. 3.

5684. — *Ueber die Beziehungen zwischen dem kleinsten Sehwinkel und der Lichtintensität.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 122—126.

1878.

5685. G. Albertotti. *Ueber das Verhältnifs zwischen V (Sehschärfe) und L (Helligkeit).* Ann. di Ottalm. I. S. 1—18.

1879.

5686. E. Javal. *Essai sur la physiologie de la lecture.* Cap. 5. *Influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle.* Ann. d'Ocul. Januar bis Juni.

1881.

5687. H. Parinaud. *Détermination numérique de l'acuité visuelle pour les couleurs et la lumière. Chromoptomètre.* Ann. d'Oculist. Bd. 85. S. 113—134.

1883.

5688. A. Charpentier. *Expériences relatives à l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle.* Arch. d'Ophthalm. III. S. 397.

5689. H. Cohn. *Untersuchungen über die Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung.* Sitzgs.-Ber. d. schles. Ges. 16. Nov. Bresl. ärztl. Ztg.

5690. W. Macé de Lépinay und W. Nicati. *Recherches sur la comparaison photométriques des diverses parties d'un même spectre.* Ann. de Chim. et Phys. 5. Serie. XXX.

1884.

5691. H. Cohn. *Untersuchungen über die Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung.* Arch. f. Augenheilkde. XII. 2/3. S. 223.

5692. L. Weber. *Die photometrische Vergleichung ungleichfarbiger Lichtquellen.* Elektrotechn. Zeitschr. April.

1885.

5693. A. König. *Ueber die Beziehungen zwischen der Sehschärfe und der Beleuchtungsintensität.* Verhandl. d. physik. Ges. in Berlin. No. 16 Sitzg. v. 4. Dec.

5694. B. Kolbe. *Ueber den Einflufs der relativen Helligkeit und der Farbe des Papiers auf die Sehschärfe.* (Russisch.) Chodin's Westn. Oftalm. Bd. II. S. 289. Pflüger's Arch. XXXVII. S. 562—581.

5695. W. Uhthoff. *Ueber das Verhältnis der Sehschärfe zur Beleuchtungsintensität.* Verhandl. d. physiol. Ges. zu Berlin. No. 6, 7, 8. Sitzg. a. 13. Febr. — Du Bois' Arch. f. Physiol. S. 231.

1886.

5696. H. Cohn. *Ueber Sehschärfe bei photometrirtem Tageslicht und den Polarisationsepiskotister.* Tagebl. d. LIX. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzt. in Berlin. S. 222. — Ber. üb. d. XVIII. Vers. d. ophthalm. Ges. S. 2. — Aerztl. Intelligenzbl. München. XXXIII. S. 586.

5697. J. Rosenthal. *Ueber Beleuchtung und den Zusammenhang derselben mit der Sehschärfe.* Tagebl. d. LIX. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 416.

5698. W. Uhthoff. *Ueber das Abhängigkeitsverhältnifs der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität.* v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXII. (1.) S. 171.

1888.

5699. J. Bjerrum. *Bemärkninger om formindskelse af synsstyrken samt kliniske iagttagelser angaaende forholdet mellem synstyrke, klarhedssans og farvesans. (Bemerkungen über Verminderung der Sehschärfe nebst klinischen Beobachtungen über das Verhältnifs zu Sehschärfe, Lichtsinn und Farbensinn.)* Nord. oftalm. Tidsskr. I. S. 95.

5700. J. Talko. *Die Sehschärfe des Auges während der vollkommenen Sonnenfinsternifs untersucht.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 481.

1889.

5701. A. König. *Ueber die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Lichtintensität bei spectraler Beleuchtung.* Verhandl. physik. Ges. Berlin. VIII. S. 9—12.

1890.

5702. W. Uhthoff. *Weitere Untersuchungen über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Intensität, sowie von der Wellenlänge im Spektrum.* Graefe's Arch. f. Ophthalm XXXVI. Abt. 1. S. 33—61.

1892.

5703. A. Karvezki. *Du rapport entre l'intensité de l'éclairage et l'acuité visuelle.* (Russisch.) Thèse. St. Petersburg.

4. Irradiation.

1519.

5704. Lionardo da Vinci. *Trattato della pittura.* Paris. 1651.

1595.

5705. Mästlinus. *Disput. de pass. planet.* Thes. 148.

1602.

5706. Tycho Brahe. *Tychonis Brahe Dani Astronomiae instauratae Progymnasmata.* Prag, cap. I.

1604.

5707. Kepler. *Ad Vitellionem Paralipomena.* Frankfurt. S. 39, 200, 217—221, 285, 286, 445—446.

1610.

5708. Galilei. *Sydereus Nuncius.*

1611.

5709. Galilei. *Continuazione del Nunzio sidereo.*

5710. — *Lettera at Padre Christoforo Grienberger.*

1612.

5711. Galilei. *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari.* Roma 1613.

1613.

5712. D'Aguilon. *Francisci Aguilonii opticorum libri sex.* Antwerpen. H. IV. S. 225.

1619.

5713. Galilei. *Discorso delle comete di Mario Guiducci.* Opere II. S. 256, und 396. Systema cosmicum. Lyon 1641. Dial. III. S. 248.

5714. Sarsius. *Libra astronomica ac philosophica.* Perusiae.

5715. Scheiner. *Oculus, hoc est fundamentum opticum.* Oeniponti. S. 132 u. 133.

1623.

5716. Galilei. *Il saggiatore.* Rom. Opere di Galileo Galilei, Florenz 1718. II. S. 299, 329 u. 392—400.

1626.

5717. Sarsius. *Ratio ponderum librae et simbellae etc.* Paris. S. 183.

1630.

5718. Castelli. *Extrait d'une lettre.* Opere di Galileo Galilei, Florenz 1852. IX. S. 206.

1631.

5719. Gassendi. *Mercurius in sole visus.* Paris. Petri Gassendi opera omnia, Lyon 1658. IV. S. 499.

1632.

5720. Galilei. *Dialoghi quattro sopra i due massimi sistemi del mondo.* Florenz, Dial. 3.

5721. Schickard. *Pars responsi ad epistolas P. Gassendi de Mercurio sub sole viso.* Tubingae. (Der Planet wird durch Irradiation verkleinert.)

1636.

5722. Gassendi. *Epistola prima de apparente magnitudine solis humilis et sublimis.* Paris 1642. Petri Gassendi opera omnia Lyon 1658. III. S. 421 u. 422.

1637.

5723. Descartes. *Dioptrique.* Leyde. Discours VI. S. 67 u. 68.

1640.

5724. Gassendi. *Epistola secunda de apparente magnitudine solis humilis et sublimis.* Paris 1642. Petri Gassendi opera omnia, Lyon 1658. III. S. 422—431.

1641.

5725. Gassendi. *Epistola tertia de apparente magnitudine solis humilis et sublimis.* Paris 1642. Petri Gassendi opera omnia, Lyon 1658. III. S. 456 u. 457.

1642.

5726. Gassendi. *Epistola III de proportione, qua gravia decidentia accelerantur.* Opera omnia. III. S. 585.

1647.

5727. Hevelius. *Selenographia, sive lunae descriptio.* Gedani.

1648.

5728. Plempius. *Ophthalmographia, sive tractatio de oculo.* 2. édit. Louvain. IV. S. 153.

1658.

5729. Gassendi. *Physica.* Sect. II. L. II, chap. V. Petri Gassendi opera omnia, Lyon 1658. L. S. 572—575, 580 u. 581.

1659.

5730. Huygens. *Christiani Hugenii systema saturnium.* Hagae comitis. S. 7.

1662.

5731. Horrox. *Venus in sole visa.* Gedani.

1667.

5732. H. Fabri. *Synopsis optica, in qua etc.* Lyon. Propos. VIII, XIV, XVII et coroll. 1, XVIII et coroll. 1, 2, 3.

1674.

5733. Milliet Dechales. *Cursus seu mundus mathematicus.* Lyon. Theil Optik. I. propos. 26.

1685.

5734. Zahn. *Oculus artificialis teledioptricus etc.* Herbipolis.

1699.

5735. De la Hire. *Observation d'une éclipse de l'Oeil du Taureau etc.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris.

1738.

5736. Jurin. *On distinct and indistinct vision.* Smith's Optics. § 53.

1739.

5737. Grandjean de Fouchy. *De atmosphaera Lunari.* Phil. Transact. XLI. S. 261.

1743.

5738. Delisle. *Extrait d'une lettre écrite de Pétersbourg le 24 août 1743, et adressée à Cassini.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris. S. 419.

1748.

5739. Le Monnier. *Extrait des observations de la dernière eclipse annulaire du soleil, du 25 juillet 1748, observée en Écosse etc.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris.

1751.

5740. Hamberger. *Physiologia medica.* Jena.

1762.

5741. De Lalande. *Observation qui prouve que le diamètre apparent de Vénus ne diminue pas sensiblement, lors même qu'il est vu sur le disque lumineux du soleil.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris.

1770.

5742. De Lalande. *Explication du prolongement obscur du disque de Vénus, qu'on aperçoit dans ses passages sur le soleil.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris.

1782.

5743. F. W. Herschel. *On the diameter and magnitude of the Giorgium Sidus; with a description of the dark and lucid disk and periphery micrometers.* Phil. Transact. 1783. I. S. 4.

1784.

5744. Le Gentil. *Sur la grandeur apparente des corps opaques vus sur un fond lumineux ou autrement.* Mém. de l'Acad. des sc. de Paris. 1784. S. 469.

1810.

5745. Hassenfratz. *Cours de physique céleste.* S. 23.

1811.

5746. Biot. *Traité élémentaire d'astronomie physique.* Edit. 2me. S. 534, 536.

1813.

5747. Arago. *Sur l'irradiation. Note inédite.* Oeuvres complètes. XI. S. 335.

1814.

5748. Delambre. *Astronomie théorique et pratique.* T. II. Chap. 26. § 197. T. III. Chap. 29. § 12.

1820.

5749. De Zach. *Éclipse annulaire du soleil, le 7. septembre 1820.* Correspond. astronom. IV. S. 171.

1821.

5750. L. L. Vallée. *Traité de la science du dessin.* Paris. IV chap. VI u. VII.

1826.

5751. J. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* S. 400.

1828.

5752. Brandes. Gehler's neues Physik. Wörterbuch. V. S. 796.

5753. J. Herschel. *On light.* I. § 697.

5754. Leroy. *Vison centrale, irradiation et acuité visuelle.* Arch. d'ophthalm.

5755. J. South. *On the occultation of δ Piscium by the moon, observed in Blackman-Street, etc.; references to recorded observations of occultations, in which peculiarities have been apparently seen, either at the Moon's limb or upon her disk; etc.* Mém. of the Astron. Soc. of London. III. 1829. S. 303.

1829.

756. Quetelet. *Positions de physique.* III. S. 81.

1830.

757. Hiort. *De functione retinae.* Christiania. 2. Theil. §§ 6 u. 61.

1831.

758. Robinson. *On Irradiation.* Mem. of the Astronom. Soc. of London. V. S. 1.

759. Joslin. *On Irradiation.* Transact. of the Americ. Philos. Soc. N. S. IV. (3) S. 340.

1832.

760. Bessel. *Durchgang des Merkur durch die Sonne.* Astronomische Nachrichten. Bd. X. S. 187.

761. D. Brewster. *On the undulations excited in the retina by the action of luminous points and lines.* Philos. Mag. (3.) I. S. 169.

1838.

762. *J. Plateau. *Mémoire sur l'irradiation.* Nouv. Mém. de l'Acad. de Bruxelles. T. XI. Pogg. Ann. Erg.-Bd. I. S. 79, 193, 405.

1839.

763. J. Plateau. *Note sur l'irradiation.* Bull. de l'Acad. de Belg. VI. (1.) S. 501.

764. — *Deuxième note sur l'irradiation.* Bull. de l'Acad. de Belg. VI. (2.) S. 102.

1840.

765. G. Th. Fechner. *Von der sog. Irradiation.* Pogg. Ann. L. S. 195.

1842.

66. Valz. *Éclipse solaire du 8 juillet.* Bull. de l'Acad. de Belg. IX. (2.) S. 288.

1849.

67. Baden Powell. *On irradiation.* Memoirs of the London astronom. Society. XVIII. S. 69. — Inst. No. 818. S. 288. No. 840. S. 47. — Report of Brit. Assoc. 2. S. 21.

1850.

68. W. Haidinger. *Das Interferenzschachbrettmuster und die Farbe der Polarisationsbüschel.* Wien. Ber. VII. S. 389 u. 396. Pogg. Ann. LXXXV. S. 350. — Cosmos. I. S. 252, 454. (Fall von Irradiation, vermischt mit monochromatischen Abweichungen.)

69. Petrie. *On the powers of minute vision. Results from experiments for determining the best sort of station-marks, etc.* Report of the British Assoc. II. S. 183.

1851.

70. H. W. Dove. *Ueber die Ursache des Glanzes und der Irradiation, abgeleitet aus chromatischen Versuchen mit dem Stereoskop.* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 169. — Berl. Monatsber. S. 252. — Phil. Mag. (4.) IV. S. 241. — Arch. d. sc. phys. et nat. XXI. S. 209. — Inst. No. 991. S. 421.

1852.

71. *H. Welcker. *Ueber Irradiation und einige andere Erscheinungen des Sehens.* Gießen.

72. Fliedner. *Beobachtungen über Zerstreuungsbilder im Auge, sowie über die Theorie des Sehens.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 348.

5773. Trouessart. *Note concernant ses recherches sur la théorie de la vision.* Compt. Rend. XXXV. S. 134—136. — Arch. d. sc. phys. XX. S. 305—306.
5774. L. L. Vallée. *De la vision considérée dans les influences en quelque sorte moléculaires, exercées dans les réfractions, et du phénomène de l'irradiation.* Compt. Rend. XXXV, S. 679—681.

1853.

5775. Fliedner. *Zur Theorie des Sehens.* Pogg. Ann. LXXXIII. S. 29.
5776. A. Cramer. *Bydrage tot de verklaring der zoogenaamde irradiatie - verschynselen.* Nederl. Lancet (3.) III. S. 551.
5777. H. Meyer. *Ueber die sphärische Abweichung des menschlichen Auges.* Pogg. Ann. LXXXIX. S. 540—568. — Fechner's Centralbl. S. 864.

1854.

5778. F. Burckhardt. *Zur Irradiation.* Verhandl. d. naturf. Ges. z. Basel. I. S. 154—157.
5779. Trouessart. *Recherches sur quelques phénomènes de la vision.* Brest. S. 130 u. 336.

1855.

5780. A. Cramer. *Beitrag zur Erklärung der sog. Irradiationserscheinungen.* Prag. Vierteljahrsschr. IV. S. 50—70.
5781. F. Burckhardt. *Ueber den Gang der Lichtstrahlen im Auge.* Verhandl. d. naturf. Ges. in Basel. II. S. 269.

1856.

5782. van Breda. *Eenige waarnemingen over de zoogenaamde nabeelden.* Akad. van Wetensch. van Amsterdam. afdeel. Natuurk. V. S. 342.
5783. A. Fick. *Einige Versuche über die chromatische Aberration des menschlichen Auges.* Arch. f. Ophthalm. II. (2.) S. 70—76.

1857.

5784. A. W. Volkmann. *Ueber Irradiation.* Ber. d. sächs. Ges. S. 129.

1858.

5785. Respighi. *Sulla irradiazone oculare.* Mem. del Istituto di Bologna. IX. S. 513.

1859.

5786. Arago. *De l'influence des lunettes sur les images.* Oeuvres completes. XI. S. 305 u. 307.

1861.

5787. H. Aubert. *Beiträge zur Physiologie der Netzhaut.* Abhandl. d. Schlesischen Ges. S. 49. § 4—8.
5788. Faye. *L'irradiation peut-elle réconcilier l'hypothèse des nuages solaires avec les faits observés pendant les éclipses totales?* Compt. Rend. LII. S. 85.
5789. A. W. Volkmann. *Ueber den Einflufs der Extension eines Lichtreizes auf dessen Erkennbarkeit.* Gött. Nachr. S. 170—176.
5790. — *Ueber die Irradiation, welche auch bei vollständiger Accommodation des Auges statthat.* Münch. Ber. 2. S. 75—78.

1866.

5791. E. Mach. *Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut.* Wien. Ber. LII. (2.) S. 303—322.
5792. A. Proctor. *Deceptive figures; with remarks on Saturn's „square shouldered“ phase.* Int. Obs. X. S. 23—27.

1867.

5793. E. Mach. *Ueber den physiologischen Effect räumlich vertheilter Lichtreize.* Wien. Akad. Ber. LIV. (2.) S. 131—134.

1868.

5794. E. Mach. *Ueber die physiologische Wirkung räumlich vertheilter Lichtreize.* Wien. Ber. LVII. (2.) S. 11—19.
5795. Stone. *A rediscussion of the observations of the transit of Venus.* Monthly Notices of the Astron. Soc. of London. XXVIII. S. 255.
5796. — *Some remarks and suggestions arising from the observations of the transit of Mercury across the sun's disk.* Monthly Notices of the Astron. Soc. of London. XXIX. S. 15 u. 47.

1869.

5797. Faye. *Sur les passages de Vénus et la parallaxe du soleil.* Compt. Rend. LXIII. S. 42.

5798. Legrand. *Sur l'erreur que comportent l'observation du passage de Mercure sur le soleil et beaucoup d'autres observations astronomiques.* Compt. Rend. Bd. 68. S. 244.

5799. Stone. *On some points connected with the rediscussion of the observations of the transit of Venus 1769.* Monthly Notices of the Astron. Soc. of London. XXIX. S. 236.

1871.

5800. Wyld. *Certain phenomena applied in solution of difficulties connected with the theory of vision.* Proc. of the Roy. Soc. of Edinburgh. VII. 1869—72. S. 355 u. 361.

1873.

5801. T. K. Abbot. *On the „Black Drop" in the Transit of Venus.* Phil. Mag. (4.) XLVI. S. 375.

5802. Le Roux. *Sur l'irradiation.* Compt. Rend. Bd. 76. S. 960.

1874.

5803. M. Devic. *Sur l'observation d'un phénomène de la goutte noire.* Compt. Rend. Bd. 79. 2. S. 96.

5804. Wolf et André. *Recherches sur les apparences singulières qui ont souvent accompagné l'observation des contacts de Mercure et de Vénus avec le bord du soleil.* Ann. de l'Observatoire de Paris, mémoires. X. 1.

1876.

5805. André. *Sur le passage de Vénus du 9. décembre 1874.* Compt. Rend. LXXXII. S. 205.

1878.

5806. André. *Résultats des observations du passage de Mercure.* Compt. Rend. LXXXVI. S. 1380.

5807. — *Étude du ligament noir dans les passages des planètes devant le soleil.* Assoc. franç. sess. de Paris. — Rev. svient. 2. sér. 8. année.

1879.

5808. Cintolesi. *Intorno alle immagini accidentali o suggettive.* Ann. d'Ottalm. VIII. 2 u. 3. — Nature. XXI. 21. — Beibl. d. Physik. III. S. 711.

5809. J. Plateau. *Un mot sur l'irradiation.* Bull. de l'Acad. roy. des sc. de Belg. No. 7. 2. sér. Bd. 48. S. 37.

1880.

5810. J. Plateau. *Un mot sur l'irradiation.* Arch. de biol. I. S. 61—65.

1881.

5811. André und Angot. *Origine du ligament noir dans les passages de Vénus et de Mercure et moyen de l'éviter.* Ann. scient. de l'Ecole norm. supér. 2. X. S. 323.

1884.

5812. Prompt. *Des lignes d'irradiation.* Nice méd. 1883—84. VIII. S. 145.

1886.

5813. A. Charpentier. *Propagation de la sensation lumineuse aux zones rétiniennes non excitées.* Compt. Rend. Bd. 102. S. 983.

5814. J. Kroutil. *Note über Irradiation.* (böhmisch) Casopis. XVI. S. 31—42.

---

§ 22.

Die Dauer der Lichtempfindung.

Hinsichtlich der positiven Nachbilder ist auch die Litteratur in § 23 zu beachten.

cca. 150.

5815. Ptolemäus. *Optik.*

cca. 1000.

5816. Alhazen. *Opticae thesaurus. Alhazeni Arabis libri VII edit. a F. Risnero.* Basil 1572. Lib. II. cap. 20. S. 36—37.

1604.

5817. KEPLER. *Ad vitellionem paralipomena quibus astronomiae pars optica traditur.* Frankfurt. S. 169—170.

1615.

5818. D'AGUILON. *Francisci Aguilonii opticorum libri sex.* Antwerpen.

1639.

5819. GASSENDI. *Vita Peireskii.* Paris. 1641. lib. V. Petri Gassendi opera omnia. Lyon. 1658. Bd. V. S. 317.

1645.

5820. MICHAELIUS. *De oculo seu de natura visus libellus.* Dordrecht. (Am Ende der Paralipomena.)

1663.

5821. BOYLE. *Experiments and observations upon colours.* The philosophical works of R. Boyle. 2. edit. London. 1738. II. S. 4.

1667.

5822. H. FABRI. *Synopsis optica in qua, etc.* Propos. XVI. Coroll. IV. S. 21. Lyon.

1674.

5823. MILLIET DECHALES. *Cursus seu Mundus Mathematicus.* Bd. III. lib. II. Propos. LXIII. S. 448—450. Lyon. 2. Aufl.

1685.

5824. ZAHN. *Oculus artificialis teledioptricus, etc.* Herbipolis. Fundam. I. Syntagma I, cap. VI.

1704.

5825. J. NEWTON. *Optice.* Quaestio. XVI.

1740.

5826. MARIOTTE. *Traité des couleurs. II. part. 4. disc. Des apparences des couleurs qui procèdent des modifications internes des organes de la vision.* Oeures, La Haye. 1740. S. 318—320.

5827. SEGNER. *De raritate luminis.* Gottingae.

1745.

5828. BOERHAVE. *Praelectiones academicae, in proprias institutiones rei medicae.* Herausgeg. v. A. Haller. Turin. Bd. III. S. 147. § 541.

1751.

5829. HAMBERGER. *Physiologia medica.* Jena. § 993.

1758.

5830. DUFIEAU. *Manuel physique, ou manière courte et facile d'expliquer les phénomènes de la nature.* Lyon. S 379—380.

5831. JURIN. *An essay upon distinct and indistinct vision.* In: Smith, A complete system of optics. Cambridge. § 222.

1759.

5832. PORTERFIELD. *A treatise on the eye, the manner and phenomena of vision.* Edinbourg. II. S. 422.

1760.

5833. MUSSCHENBROEK. *Introductio ad philosophiam naturalem.* § 1820.

1763.

5834. SCOPOLI. *Entomologia Carniolica.*

1765.

5835. D'ARCY. *Sur la durée de la sensation de la vue.* Mém. de l'Acad. des Sc. S. 450.

5836. B. FRANKLIN. *New experiments and observations.* London. 1769. S. 469. — Journ. phys. de Rozier. 1773. II. S. 383.

1770.

5837. MELVILLE. *Essays and observations physical and literary.* II. S. 12: *Observations on light and colours.*

1776.

5838. DE GODART. *Premier mémoire d'optique, ou explication d'une expérience de M. Franklin.* Journ. de phys. de Rozier. VII. S. 509.

1778.

5839. DICQUEMARE. *Remarques sur l'illusion des sens, et en particulier de la vue.* Journ. de phys. de Rozier. XI. S. 403.

1781.

840. Kratzenstein. *Afhandling om det menneskelige öies achromatiske beskaffenhed.* Nouv. Coll. des mém. de la Soc. roy. danoise des sc. Erster Theil. S. 131. Kopenhagen.

1786.

841. R. W. Darwin. *New experiments on the ocular spectra of light and colours.* Philos. Transact. LXXVI. (2.) S. 313.

1795.

842. T. Cavallo. *Naturlehre,* übers. v. Trommsdorf. III. S. 132.

1796.

843. Voigt. *Beobachtungen und Versuche über farbiges Licht, Farben und ihre Mischung.* Gren's Journ. d. Phys. III. S. 235.

1800.

44. A. F. Lüdicke. *Beschreibung eines Schwungrades, die Verwandlung der Regenbogenfarben in Weifs darzustellen.* Gilb. Ann. V. S. 272.

1803.

45. P. Prévost. *Remarques sur trois suites d'observations cyanométriques de H. B. de Saussure.* Journ. de Phys. de Rozier. LVII. S. 372 u. 382.

1806.

46. Ritter. *Physisch-chemische Abhandlungen.* Leipzig. III. S. 356.

1810.

47. A. F. Lüdicke. *Versuche über die Mischung prismatischer Farben.* Gilb. Ann. XXXIV. 4.

48. — *Beschreibung eines Chromaskops.* Gilb. Ann. XXXVI.

49. — *Ueber das prismatische weifse Licht.* Gilb. Ann. XXXVI.

1816.

50. A. F. Lüdicke. *Versuche mit dem Chromaskop.* Gilb. Ann. LII.

1819.

51. Parrot. *Entretiens sur la Physique.* Dorpat 1819—24. III. S. 235.

1825.

52. Purkinje. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* Bd. II: *Neue Beiträge zur Kenntnifs des Sehens in subjectiver Hinsicht.* Berlin. S. 100.

53. Roget. *Explanation of an optical deception in the appearance of the spokes of a wheel seen through vertical apertures.* Philos. Transact. I. 131. Pogg. Ann. V. S. 93.

1827.

54. E. G. Fischer. *Lehrbuch der mechanischen Naturlehre.* Berlin. II. S. 267. (Farbenkreisel.)

55. Paris. *Thaumatrop.* Pogg. Ann. X. S. 480. — Edinb. Journ. of Sc. VII. S. 87.

56. J. Plateau. *Sur la durée des sensations que les couleurs produisent dans l'oeil.* Corresp. math. et phys. de Quetelet. III. S. 27.

57. C. Wheatstone *On the duplication and multiplication of objects, a new optical experiment.* Quarterly Journ. of sc. N. S. I. S. 344.

58. Th. Young. *Optische Erscheinung bei einer schwingenden Saite.* Pogg. Ann. X. S. 470 bis 480.

1828.

59. J. Plateau. *Sur les sensations produites dans l'oeil par les différentes couleurs.* Corresp. math. et phys. de Quetelet. IV. S. 51.

1829.

60. J. Plateau. *Dissertation sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière sur l'organe de vue.* Liège.

61. — *Lettre relative à différentes expériences d'optique.* Corresp. math. et phys. de Quetelet VI. S. 121.

62. Le François. *Théorie mathématique des courbes d'intersection apparente de deux lignes qui tournent avec rapidité autour de deux points fixes.* Corresp. math. et phys. de Quetelet. V. S. 120.

63. — *De la courbe produite par les intersections successives de deux droites pivotant autour de deux points fixes, de manière que la vitesse angulaire de l'une soit double de celle de l'autre.* Corresp. math. et phys. de Quetelet V. S. 379.

1830.

64. J. Plateau. *Ueber einige Eigenschaften der vom Lichte auf das Gesichtsorgan hervorgebrachten Eindrücke.* Pogg. Ann. XX. S. 304—324 u. 543. (Verschiedene Dauer des Farbeneindrucks, Radspeichencurven.)

1831.

5865. A. A. *Optical deception upon the Liverpool and Manchester rail-road.* Journ. of the Roy. Inst. I. S. 600.

5866. Aimé. *Phénomènes qui arrivent quand on met deux roues en mouvement l'une devant l'autre.* Bull. de Férussac, sc. math. XV. S. 103 u. 107.

5867. J. Plateau. *Lettre sur une illusion d'optique.* Ann. de chim. et de phys. de Paris. XLVIII. S. 281.

5868. M. Faraday. *On a peculiar class of optical deceptions.* Journ. of the Roy. Inst. I. S. 205. — Pogg. Ann. XXII. S. 601. (Ein Zahnrad durch das andere gesehen; Schraubenbewegung)

1833.

5869. J. Plateau. *Sur un nouveau genre d'illusion d'optique.* Corresp. math. et phys. de l'observat. de Bruxelles. VII. S. 365.

5870. — *Des illusions sur lesquelles se fonde le petit appareil appelé récemment phänakisticope.* Ann. de chim. et de phys. LIII. S. 304. — Pogg. Ann. XXXII. S. 647.

5871. Stampfer. *Die stroboskopischen Scheiben oder optische Zauberscheiben, deren Theorie und wissensch. Anwendung.* Wien. — Pogg. Ann. XXIX. S. 189. XXXII. S. 636. — Jahrb. d. polytechn. Inst. zu Wien. Bd. XVIII.

5872. Busolt. *Farbenkreisel.* Pogg. Ann. XXXII. S. 656.

5873. Talbot *Proposed philosophical experiments.* Phil. Mag. (3.) III. S. 81.

5874. Wheatstone. *Remarks on one of M. Talbot's proposed philosophical experiments.* Phil. Mag. (3.) III. S. 204.

5875. — *On the duration of luminous impressions on the organ of vision.* Athenäum. 16. März.

1834.

5876. Horner. *On the properties of the Dädaleum, a new instrument of optical illusion.* Pogg. Ann. XXXII. S. 650. — Phil. Mag. (3.) IV. S. 36.

5877. Talbot. *Facts relating to optical science: A body in rapid motion, yet apparently at rest.* Phil. Mag. (3.) IV. S. 113.

5878. — *Experiments on light; on Photometry.* Phil. Mag. (3.) V. S. 327.

1835.

5879. G. Th. Fechner. *Ueber einige Erscheinungen des Sinnengedächtnisses.* Fechner's Centralbl. Jahrg. I. S. 775.

5880. Snell. *Description of an instrument for exhibiting a certain optical deception.* Silliman's Journ. (1.) XXVII. S. 310.

5881. Tomlinson. *On the theory of accidental and complementary colours, with additional experiments and observations.* Thomson's Rec. of gen. sc. II. S. 283.

5882. J. Plateau. *Sur un principe de photométrie.* Bull. de l'Acad. de Bruxelles. II. S. 52. — Pogg. Ann. XXXV. S. 457—464. (Messungen der Lichtstärke intermittirenden Lichts.)

5883. H. W. Dove. *Ueber Discontinuität des Leuchtens der Blitze.*

5884. Adams. *Optische Täuschung bei Betrachtung eines in Bewegung begriffenen Körpers.* Pogg. Ann. XXXIV. S. 384. — Phil. Mag. V. S. 373.

1836.

5885. J. Plateau. *Notice sur l'anorthoskop.* Bull. de l'Acad. de Bruxelles. III. S. 7. — Pogg. Ann. XXXVII. S. 464.

5886. — *Sur un nouveau moyen de déterminer la vitesse et les particularités d'un mouvement périodique très-rapide, tel que celui d'une corde sonore en vibration; etc.* Bull. de l'Acad. de Belg. III. S. 364.

5887. Tomlinson. *On the curved figures produced by rapidly rotating discs.* Thomson's Rec. of gen. sc. IV. S. 135.

1839.

5888. Serre. *Note sur la persistance des impressions sur la rétine.* Ann. d'Ocul. I. S. 291.

5889. J. Plateau. *Mémoire sur l'irradiation.* Mém. de l'Acad. de Belg. XI. § 82 u. 86.

1842.

5890. Milward. *Some observations on the action of light on revolving discs.* Phil. Mag. (3.) XX. S. 449.

1843.

5891. D. Brewster. *On the combination of prolonged direct luminous impressions on the retina with their complementary impressions.* Phil. Mag. (3.) XXII. S. 434.

1845.

5892. Emsmann. *Optische Täuschung, welche sich an dem Abplattungsmodelle zeigt.* Pogg. Ann. LXIV. S. 326.

5893. Chr. Doppler. Abhandl. der böhmischen Ges. der Wiss. V. Folge. Bd. 3.

1846.

5894. Coates. *Ocular spectra.* Proc. of the Americ. phil. Soc. IV. S. 239.

5895. H. W. Dove. *Ueber die Methoden, aus Complementärfarben Weifs darzustellen, und über die Erscheinungen, welche polarisirtes Licht zeigt, dessen Polarisationsebene gedreht wird.* Berl. Monatsber. S. 70. Pogg. Ann. LXXI. S. 97; Phil. Mag. XXX. S. 465; Inst. No. 712. S. 176; Arch. d. sc. phys. et nat. V. S. 276.

896. — *Ueber ein optisches Verfahren, die Umdrehungsgeschwindigkeit einer rotirenden Scheibe zu messen.* Berl. Monatsber. 1847. S. 77. Pogg. Ann. LXXI. S. 112; Inst. No. 712. S. 177.

1847.

897. H. W. Dove. *Beschreibung eines Stephanoskops.* Pogg. Ann. LXXI. S. 115.

898. Müller. *Anwendung der stroboskopischen Scheiben zur Versinnlichung der Wellenlehre.* Pogg. Ann. LXVII. S. 271.

1849.

899. J. Plateau. *Sur de nouvelles applications curieuses de la persistance des impressions de la rétine.* Bull. de Bruxelles XVI. I. S. 424, 588. II. S. 30, 254. Inst. XVII. No. 818. S. 277. No. 830. S. 378. XVIII. No. 835. S. 5. — Phil. Mag. XXXVI. S. 434, 436; — Pogg. Ann. LXXVIII. S. 563; LXXIX. S. 269; LXXX. S. 150, 287; — Froriep's Notizen X. S. 221, 325.

1850.

900. J. Tyndall. *Phenomena of water jet. (Beleuchtung durch electrische Funken.)* Phil. Mag. (4.) I. S. 105; Pogg. Ann. LXXXII. S. 294; Edinb. Journ. L. S. 370; Inst. No. 924. S. 303.

901. H. Buff. *Einige Bemerkungen über die Erscheinung der Auflösung des flüssigen Strahls in Tropfen.* Liebig und Wöhler, LXXVIII. S. 162. (Beleuchtung durch intermittirendes Licht.)

902. Billet Sélis. *Sur les moyens d'observer la constitution des veines liquides.* Ann. d chim. et de phys. (3.) XXXI. S. 326; Pogg. Ann. LXXXIII. S. 597.

903. Secchi. *Sopra un nuovo fotometro destinato specialmente a misurare l'intensità relativa della luce delle stelle.* Atti dell' Accad. pontif. de'Nuovi Lincei, sessione I. anno. IV.

904. W. Swan. *On the gradual production of luminous impressions on the eye and other phaenomena of vision.* Sill. Journ. (2.) IX. S. 443; Proceed. Edinb. Roy. Soc. 1849. II. S. 230.

905. — *On the limits to the velocity of revolving lighthouse apparatus caused by the time required for the production of luminous impressions on the eye.* Report of the Brit. Assoc. 2. Theil. S. 191.

906. Stevelly. *Attempt to explain the occasional distinct vision of rapidly revolving coloured sectors.* Sill. Journ. (2.) X. S. 401; Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 21.

907. Sinsteden. *Eine optische Stelle aus den Alten.* Pogg. Ann. LXXXIV. S. 448; Cosmos I. S. 116.

1851.

908. Loomis. *On the apparent motion of figures of certain colours.* Proc. of the Amer. Assoc. 1852. S. 78.

1852.

909. Moigno. *Stéréo-fantascope, ou bioscope de M. J. Duboscq.* Cosmos. No. 30. S. 703.

910. Montigny. *Procédé pour rendre perceptibles et pour compter les vibrations d'une tige élastique.* Bull. de Bruxelles XIX. 1. S. 227—250; Inst. S. 216—220; 268. Pogg. Ann. LXXXIX. S. 102—121.

911. — *Phénomènes de persistance des impressions de la lumière sur la rétine.* Mém. de l'Acad. de Belg. Bd. XXIV.

1853.

912. A. Poppe. *Das verbesserte Interferenzoskop.* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 223—230. (Beobachtung von Flüssigkeitswellen durch stroboskopische Scheiben.)

913. F. Uchatius. *Apparat zur Darstellung beweglicher Bilder an der Wand.* Wien. Ber. X. S. 482—485.

5914. W. Rollmann. *Ueber eine neue Anwendung der stroboskopischen Scheiben.* Pogg. Ann. LXXXIX. S. 246—250.
5915. J. Plateau. *Sur le passage de Lucrèce où l'on a vu une déscription du fantascope.* Arch. d. sc. phys. XX. S. 300—302; Cosmos. I. S. 307—309. (Gegen Sinsteden.)

1854.

5916. Emsmann. *Ueber die Dauer des Lichteindrucks.* Pogg. Ann. XCI. S. 611—618 Inst. S. 276.

1855.

5917. Czermak. *Physiologische Studien.* II. Wien. Akad. Ber. XV. S. 463.
5918. Lissajous. *Note sur un moyen nouveau de mettre en évidence le mouvement vibratoire des corps.* Compt. Rend. XLI. S. 93—94; Inst. S. 245. Cosmos. VII. S. 81—83. Arch. d. sc. phys. XXX. S. 159—161.
5919. — *Note sur une méthode nouvelle applicable à l'étude des mouvements vibratoires.* Compt. Rend. XLI. S. 814—817; Cosmos. VII. S. 608—609; Inst. S. 402—403.
5920. Maxwell. *Experiments on colour as perceived by the eye, with remarks on colour blindness.* Transact. of the Roy. Soc. of Edinb. XXI. (1.) S. 275.
5921. Schafhäutl. *Abbildung und Beschreibung des Universalvibrations-Photometers.* Abhandl. d. Münchener Akad. 1855. Bd. VII. S. 465.

1856.

5922. Lissajous. *Mémoire sur l'étude optique des mouvements vibratoires.* Compt. Rend. XLIII. S. 973—976; XLIV. S. 727; XLV. S. 48—52; Inst. S. 411. 1857. S. 237; Cosmos. IX. S. 626—629; XI. S. 80—83, 110—112, 431—432; Ann. d. chim. et de phys. (3.) LI. S. 147—231.

1858.

5923. J. C. d'Almeida. *Nouvel appareil stéréoscopique.* Compt. Rend. XLVII. S. 61.
5924. D. Brewster. *On the duration of luminous impressions of certain points of the retina.* Athen. II. S. 521.
5925. Melsens. *Recherches sur la persistance des impressions de la rétine.* Bull. de l'Acad. Roy. de Belgique. (2.) T. III. No. 11.

1860.

5926. H. W. Dove. *Ueber einen besonderen Farbenkreisel des Herrn Lohmeier in Hamburg.* Berl. Monatsber. S. 491. (Ist gleich dem Dädaleum.)
5927. Goodchild. *Trocheidoskop.* Dingler's Journ. CLVII. S. 181—184. Pract. mechan. Journ. April 4. (Farbenscheiben für Contrasterscheinungen benutzt.)

1861.

5928. Shaw. *Description of a new optical instrument called the Stereotrope.* Philos. Mag. (4.) XXII. S. 537.
5929. Swan. *On the gradual production of luminous impressions on the eye, part 2, being a description of an instrument for producing isolated luminous impressions on the eye of extremely short duration and for measuring their intensity.* Transact. of the Roy. Soc. of Edinb. XXII. S. 33.

1862.

5930. F. Zöllner. *Ueber eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilder.* Pogg. Ann. CXVII. 477—484.
5931. J. J. Oppel. *Vorläufige Notiz über eine eigenthümliche Augentäuschung in Bezug auf Rotationsrichtungen.* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1861—1862. S. 56—57.
5932. D. Brewster. *On the compensation of impressions moving over the retina.* Rep. of Brit. Assoc. 1861. (2.) S. 29.

1863.

5933. A. Fick. *Ueber den seitlichen Verlauf der Erregung in der Netzhaut.* Reichert und du Bois' Arch. S. 739—764.
5934. O. N. Rood. *On certain appearances produced by revolving discs.* Silliman's Journ. (2.) XXXV. S. 357.

1864.

5935. E. Brücke. *Ueber den Nutzeffect intermittirender Netzhautreizungen.* Wien. Ber. XLIX. 21. Jan.
5936. H. Aubert. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau S. 96—103.
5937. Montigny. *Note sur un nouveau scintillomètre.* Bull. de l'Acad. de Belgique. (2.) XVII. S. 260.

1865.

938. A. Claudet. *On moving photographic figures illustrating some phenomena of vision connected with the combination of the stereoscope and the phenakistoscope, by means of photography.* Athen. S. 374. Rep. Brit. Assoc. 2. S. 9.

939. Laing. *Combination von Stereoskop und Phänakistoskop.* Mechanic's Magazine. (2.) XIII. S. 190.

940. Lucas. *Théorie mathématique de la vision des corps lumineux.* Les Mondes. IX. S. 546.

941. E. Mach. *Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut.* Wien. Akad. Ber. LII. (2.) S. 303.

942. — *Bemerkungen über intermittierende Lichtreize.* Reichert und du Bois' Arch. S. 629—635.

1866.

943. Laborde. *Dauer der Lichteindrücke.* Pogg. Ann. Bd. 129. S. 660. — Compt. rend. T. 63. S. 87.

944. J. Landerer. *Illusion optique.* Mondes. XI. S. 9—10.

945. E. Mach. *Ueber den physiologischen Effect räumlich vertheilter Lichtreize.* 2. u. 3. Abhandl. Wien. Akad. Ber. LIV. (2.) S. 131 u. 393.

1867.

946. A. Claudet. *A new fact relating to binocular vision.* Phil. Mag. 4. sér. XXXIII. S. 549.

47. Toepler und Radau. *Stroboscope.* Mondes. (2.) XV. S. 206—209.

48. Pepper. *L'Eïdoscope.* Les Mondes. (2.) XIII. S. 178.

49. Weber. *Theorie des Anorthoscops und der anorthoscopischen Figuren.* Zeitschr. f. Mathem. u. Physik. XII. S. 133.

1868.

50. Carpenter. *On the Zootrope and its antecedents.* The student and intellectual observer of sc., litt. a. art. II. S. 24, 25 u. 26.

51. S. Exner. *Ueber die zu einer Gesichtswahrnehmung nöthige Zeit.* Wien. Akad. Ber. Bd. 58. (2.) S. 601—632.

52. Jeffries. *Remarks upon the principles of the Thaumatrope.* Transact. of the Amer. Ophthalm. Soc. 1869. S. 8.

53. C. Langlois et Angiers. *Kinéscope.* Les Mondes. (2.) XVII. S. 56.

1869.

54. F. Burckhardt. *Eine Relief-Erscheinung.* Pogg. Ann. Bd. 137. S. 471.

55. C. Burckhardt und H. Faber. *Versuche über die zu einer Farbenempfindung erforderlichen kleinsten Zeiträume.* Pflüger's Arch. Bd. II. S. 121—127.

56. C. Maxwell. *Zootrope perfectionnée.* Mondes. (2.) XX. S. 585—586.

57. O. J. Rupp. *Die Dauer der Nachempfindung auf den seitlichen Theilen der Netzhaut.* Königsberg. Dissert.

58. Vierordt. *Das Pendel als Meſsapparat der Dauer der Gesichtseindrücke.* Pflüger's Arch. Bd. II. S. 121—142.

1870.

9. K. Exner. *Ueber die Curven des Anklingens und Abklingens der Lichtempfindungen.* Wien. Akad. Ber. Bd. 62. (Naturw. Kl.) S. 197.

0. S. Exner. *Ueber die zu einer Gesichtswahrnehmung nöthige Zeit.* Carl's Repert. VI. S. 242—270.

1. — *Bemerkungen über intermittirende Netzhautreizungen.* Pflüger's Arch. III. S. 214.

2. Hofmann. *Optische Erscheinung auf fortdauernden Lichteindruck gegründet, und Vorführung von Burckhardt's Relieferscheinungen.* Zeitschr. f. Naturwiss. II. (2.) S. 205.

3. J. Landerer. *Eine optische Täuschung.* Zeitschr. f. Naturwissensch. XXXV. S. 214.

1871.

4. Baxt. *Ueber die Zeit, welche nöthig ist, damit ein Gesichtseindruck zum Bewuſstsein kommt und über die Gröſse (Extension) der bewuſsten Wahrnehmung bei einem Gesichtseindruck von gegebener Dauer.* Pflüger's Arch. f. Physiol. IV. S. 325.

5. Kurz, A. *Ueber optische Erscheinungen, welche durch zwei rasch sich drehende Körper hervorgerufen werden.* Pogg. Ann. Ergzb. V. 653—655.

6. R. Pictet. *Mémoire sur la vision binoculaire.* Biblioth. univ. Arch. des Sc. nouv. période. XI. S. 105 u. 114.

5967. O. N. ROOD. *On the amount of time necessary for vision.* New-York. Phil. Mag. (4.) XLII. S. 320. Americ. Journ. of sc. a. arts. No. 2. S. 159.
5968. ZIZMANN. *Die Bilder der stroboskopischen Scheiben objectivirt.* Dingler's Polytechn. Journ. Bd. 199. S. 231.

1872.

5969. DVOŘÁK. *Ueber Analoga der persönlichen Differenz zwischen beiden Augen und den Netzhautstellen desselben Auges.* Prager Verhandl. Sitzung vom 8. März.

1873.

5970. VOLPICELLI. *Effetti della persistenza dei colori sulla retina.* Atti della R. Accad. dei Lincei. XXVI. S. 623.

1874.

5971. GORINI. *Un caso estraordinario di lunga persistenza delle immagini nell' occhio umano.* Ann. di Ottalm. III. S. 164.
5972. A. KLEINER. *Zur Theorie der intermittirenden Netzhautreizung.* Zürich. Dissert.
5973. A. J. KUNKEL. *Ueber die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Zeit.* Pflüger's Arch. f. Physiol. IX. S. 197.

1875.

5974. MORTON. *Ein neues Chromatrop.* Pogg. Ann. Bd. 157. 1876. S. 150.
5975. A. RICCÒ. *Sulla successione persistenza della sensazione dei colori.* Atti della R. acad. in Modena XVI. Arch. f. Ophthalm. XXII. 1. S. 282. Ann. di Ottalm. IV. S. 315. Modena, Soliani. 131 S.

1876.

5976. W. v. BEZOLD. *Beiträge zur Geschichte der physiologischen Optik (Farbenkreisel und binoculures Sehen).* Pogg. Ann. Bd. VIII. S. 510—515.
5977. GHERARDI. *Notizia di un fenomeno d'ottica fisiologica di qualche novita.* Rendic. delle sessioni dell'Acad. delle Sc. dell'Istituto di Bologna. 1875/76. S. 134.
5978. P. GORINI. *Un caso extraordinario di lunga persistenza delle imagini nell' occhio umano.* La France Méd. S. 735.
5979. A. KLEINER. *Zur Theorie der intermittirenden Netzhautreizung.* Zeitschr. f. d. ges. Naturwissensch. (N. F.) XIV. S. 133.
5980. A. RICCÒ. *Esperienze cromostroboscopiche.* Annuario della Società dei Naturalisti in Modena. Anno X.

1877.

5981. J. DUBOSCQ. *Expérience de projection, où l'on utilise la persistance des impressions sur la rétine.* Journ. de phys. VI. S. 213—216.
5982. C. M. GARIEL. *La persistance des impressions sur la rétine, expériences excécutées à l'aide du phénakistoscope de projection.* Paris.
5983. A. J. KUNKEL. *Ueber die Erregung der Netzhaut.* Pflüger's Arch. Bd. 15. S. 27.
5984. LAVAND DE LESTRADE. *Recomposition de la lumière spectrale.* Les Mondes. (2.) XLIII. S. 828.
5985. — *Miroir tournant pour la recomposition des couleurs du spectre.* Les Mondes. (2.) XLIV. S. 416.
5986. B. TH. LOWNE. *On some phenomena connected with vision.* Proc. of the London. Roy. Soc. XXV. S. 487—492.
5987. LUVINI. *Miroir tremblant pour la recomposition des couleurs du spectre.* Les Mondes. (2.) XLIII. S. 427.
5988. — *Recomposition de la lumière spectrale.* Les Mondes. (2.) XLIV. S. 97.
5989. PEIRCE. *Note on the sensation of color.* Silliman's Journ. (3.) XIII. S. 247.
5990. SILVANUS THOMPSON. *Some new optical illusions.* Rep. of the Brit. Assoc. Communications. S. 32.

1878.

5991. E. CHEVREUL. *Sur les phénomènes qui se rattachent à la vision d'objets colorés en mouvement.* Compt. Rend. Bd. 86. S. 621.
5992. — *Sur la vision des couleurs et particulièrement de l'influence exercée sur la vision d'objets colorés, qui se meuvent circulairement, quand on les observe comparativement avec des objets en repos identiques aux premiers.* Compt. Rend. Bd. 87. S. 576—578, 707—713.
5993. GIRAUD-TEULON. *Sur la persistance des images sur la rétine. — Rapport concernant les expériences relatives au pourpre de la rétine.* Les Mondes. (2. sér.) XLVI. S. 707.

994. J. Plateau. *Sur une lois de la persistance des impressions dans l'oeil.* Bull. de l'Acad. roy, de Belg. (2. sér.) T. XLVI. No. 9 u. 10. S. 334.

995. Reynaud. *Le Praxinoscope.* La Nature. 1. Févr. 1879.

1879.

996. A. Kleiner. *Physiologisch-optische Beobachtungen. Ueber Talbot's Gesetz.* Pflüger's Archiv. XVIII. S. 542—573.

997. Richet und Breguet. *Influence de la durée et de l'intensité sur la perception lumineuse.* Compt. Rend. Bd. 88. S. 239—240. — Arch. génér. de méd. April. — Gaz. hebdom. No. 7.

998. Tobin. *An new illustration of persistance of vision.* Journ. of the Franklin Institute. LXXVIII. (3. sér.) S. 330.

1880.

999. E. Chevreul. *Note relative à un mémoire sur la vision des couleurs matérielles en mouvement de rotation.* Compt. Rend. Bd. 91. S. 870.

000. E. Dreher. *Studien am Lebensrad betreffs eines richtigen Verständnisses der Sinneswahrnehmungen.* Die Natur. No. 5. S. 53—55.

001. Ott und Prendergast. *The rapidity of perception of colored lights.* Journ. of nerv. and ment. dis. (N. S.) V. S. 258.

002. Richet und Breguet. *De l'influence de la durée de l'intensité de la lumière sur la perception lumineuse.* Arch. de physiol. (2.) VII. S. 689—696.

1881.

03. Bull. *A new method of examining and numerically expressing the colour perception.* Transact. of the Intern. med. Cong. London. III. S. 49.

04. Kuhnt. *Empfehlung des Rothe'schen Kreisels.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 93.

05. E. Lommel. *Einfaches Verfahren, die stroboscopischen Erscheinungen für viele gleichzeitig sichtbar zu machen.* Carl's Repert. XVII. 7. S. 463.

06. Rayleigh. *Experiments on colour.* Nature XXV. S. 64 u. 66.

07. R. Rothe. *Farbenkreisel nebst Musterkarte der farbigen Papierscheiben zu Gleichungen.* Prag. — Ann. d'Oculist. Bd. 85. S. 181.

1882.

08. F. Boas. *Ein Beweis des Talbot'schen Satzes und Bemerkungen zu einigen aus demselben gezogenen Folgerungen.* Wiedem. Annal. XVI. S. 359—362.

09. A. Charpentier. *Sur la durée de la perception lumineuse dans la vision directe et dans la vision indirecte.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 96. Franc. méd. II. S. 112.

10. E Chevreul. *Mémoire sur la vision des couleurs matérielles en mouvement de rotation et sur les vitesses respectives évaluées en chiffres, de cercles dont une moitié diamétrale est colorée et l'autre moitié est blanche; vitesses correspondant à trois périodes de leur mouvement à partir de l'extrème vitesse jusqu'au repos.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 1086.

1. Wead. *On Combining Colour-Disks.* Nature. XXV. S. 266.

2. — *Le Phénakistoscope de projection.* La Nature. X. No. 473. S. 64.

1883.

3. A. M. Bloch. *Sur la vitesse des transmissions visuelles, auditives et tactiles.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 1221.

4. E. Chevreul. *Sur la vision des couleurs matérielles en mouvement de rotation et sur les vitesses respectives, évaluées en chiffres de cercles dont une moitié diamétrale est colorée et l'autre moitié est blanche; vitesses corréspondant à trois périodes de leur mouvement à partir de l'extrème vitesse jusqu'au repos.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 18—29.

1884.

5. A. M. Bloch. *Expériences sur la vitesse relative des transmissions visuelles, auditives, tactiles.* Journ. de l'anat. et de la physiol. XX. 1.

6. Buccola und B. Uffreduzi. *Wahrnehmungszeit der Farben.* Riv. di filos. scient. IV. No. 1.

7. A. Charpentier. *Sur l'inertie d'appareil rétinien et ses variations suivant la couleur excitatrice.* Compt. Rend. Bd. 99. S. 1061.

8. A. Cornu. *Expériences d'optique relatives à l'achromatisme des phénomènes d'interférence et à la persistance des impressions sur la retine.* Assoc. Franc. Blois. S. 162.

6019 J. Duboscq. *Projectionsversuche. Verharren der Eindrücke auf der Retina. Wiederherstellung des weifsen Lichtes.* Séances Soc. Phys. Juni/April. S. 665.

6020. Heuse. *Eine stereoskopische Erscheinung in der rotirenden Bildertrommel.* Arch. f. Ophthalm. XXX. 1. S. 159.

6021. E. L. Nichols. *On the duration of color impressions upon the retina.* Sill. Journ. XXVIII. S. 243.

1885.

6022. G. O. Berger. *Ueber den Einflufs der Reizstärke auf die Dauer einfacher psychischer Vorgänge mit besonderer Rücksicht auf die Lichtreize.* Leipzig.

6023. A. M. Bloch. *Expériences sur la vision.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. II. S. 493.

6024. J. M. K. Cattell. *Ueber die Zeit der Erkennung und Benennung von Schriftzeichen, Bildern und Farben.* Philos. Stud. II. S. 635—650.

6025. — *The inertia of the eye and brain.* Brain. London. VIII. S. 295.

6026. W. Filehne. *Ueber die Entstehungsart des Lichtstaubes, der Starrblindheit und der Nachbilder.* Gräfe's Arch. XXXI. (2.) 1—30.

1886.

6027. J. M. C. K. Cattell. *Ueber die Trägheit der Netzhaut und des Sehcentrums.* Wundt's Philos. Stud. III. S. 94—127.

6028. S. Exner. *Ueber die Funktionsweise der Netzhautperipherie und den Sitz der Nachbilder.* Gräfe's Arch. f. Ophthalm. XXXII. (1.) S. 233—252.

1887.

6029. A. M. Bloch. *Observations relatives à la persistance visuelle.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 130.

6030. — *Note relative aux deux dernières communications du Prof. Charpentier sur la persistance visuelle.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 118.

6031. — *Notes sur les sensations visuelles.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 391.

6032. — *La vitesse comparative des sensations.* Rev. scient. (3.) XXXIX. S. 585—589.

6033. — *Persistance des impressions rétiniennes.* Gaz. hebdom. No. 9. S. 156.

6034. A. Charpentier. *Loi de Bloch relative aux lumières de courte durée.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S: 3:

6035. — *Théorie des disques rotatifs.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 39.

6036. — *Nouveaux faits relatifs aux excitations lumineuses de courte durée.* Compt. Rend de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 42.

6037. — *Influence de l'intensité lumineuse sur la persistance des impressions rétiniennes* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 85.

6038. — *Variations de la persistance des impressions rétiniennes dans différentes conditions* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 92.

6039. — *Nouvelle série d'expériences sur la persistance des impressions rétiniennes.* Compt Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 120.

6040. — *Influence excercée sur la persistance apparente des impressions rétiniennes par la durée des excitations consécutives.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 159

6041. — *Observations relatives à la persistance visuelle.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 174.

6042. — *Sur la période d'addition des impressions lumineuses.* Compt. Rend. de la Soc de Biol. (8.) IV. S. 191.

6043. — *Sur l'apprécitation du temps par la rétine.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol (8.) IV. S. 360.

6044. — *Nouvelle note sur l'appréciation du temps.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol (8.) IV. S. 373.

6045. — *Note sur le synchronisme apparent de deux excitations lumineuses successives et voisines.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (8.) IV. S. 447.

1888.

6046. A. M. Bloch. *Sur le temps perdu de l'excitation rétinienne.* Soc. de Biol. 26. Mai

6047. A. Charpentier. *Temps perdu du nerf optique pour les excitations lumineuses et colorées.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 308.

6048. — *Nouvelle note sur le temps perdu du nerf optique.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 372.

6049. — *La perception différentielle des lumières instantanées.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 471.

6050. A. CHARPENTIER. *Influence de la surface sur la sensibilité lumineuse dans le cas des lumières in stantanées.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 536.
6051. — *Durée de l'excitation latente de l'appareil visuel.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 305.
6052. — *La persistance des images rétiniennes au centre et à la péripherie de la rétine.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 374.
6053. — *Sur l'intensité comparée des lumières brèves et de lumières continues.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 493.

1889.

6054. L. BELLARMINOW. *Ueber intermittirende Netzhautreizung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. 1. S. 25—49. Westn. ophthalm. VI. 1. S. 1. Tagebl. d. III. Kongresses d. russ. Aerzte. S. 290.
6055. L. COUTEAUX. *Une conséquenee de l'intermittence des sensations.* Rev. scient. XLIII. S. 316.
6056. G. N. STEWART. *Ist das Talbot'sche Gesetz gültig für sehr schnell intermittirendes Licht?* Proceed. of the Roy. Sc. of Edinburgh. XV. 127. S. 441.

1890.

6057. E. CANESTRINI. *Esperienze di ottica fisiologica.* Atti della Società Veneto Trentina de Scienze Naturali. Vol. XI.
6058. A. CHARPENTIER. *Recherches sur la persistance des impressions rétiniennes et sur les excitations lumineuses de courte durée.* Arch. d'Ophthalm. X. S. 108—135, 212—231, 340—356, 406—430. 522—537.
6059. — *Méthode directe pour l'étude de la persistance des impressions lumineuses.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 25. April. S. 198.
6060. — *Interférence rétinienne.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 16. Mai. S. 263.

1891.

6061. E. G. BAADER. *Ueber die Empfindlichkeit des Auges für Lichtwechsel.* Diss. Freiburg. 38 S.
6062. BROWN-SÉQUARD. *Remarques sur les recherches de M. Charpentier sur l'intensité et sur la persistance des impressions lumineuses brèves.* Arch. de Physiol. XXIII. No. 3.
6063. A. CHARPENTIER. *Démonstration expérimentale d'un temps perdu dans l'excitation des centres visuels.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. S. 528—530.
6064. — *Sur la persistance totale des impressions lumineuses, distinguée de leur persistance apparente.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. S. 600—601.
6065. — *Dissociation des impressions lumineuses successives par des zones différentes de la rétine.* Arch. de Physiol. (5.) III. 4. S. 674—687.
6066. — *Relation entre les oscillations rétiniennes et certains phénomènes entoptiques.* Compt. Rend. CXIII. No. 4. S. 217—219.
6067. — *Résultats d'expériences sur les interférences rétiniennes.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 19. S. 434—437.
6068. — *Méthode pour l'observation des interférences rétiniennes.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 18. S. 388—392.
6069. A. KURZ. *Stroboscopische Demonstrationen.* Exner's Repert. Bd. 27. S. 569—581.

1892.

6070. E. FARAVELLI. *Il tempo quale coëfficiente da introdursi nella determinazione del visus.* (Nota preventiva.) Revista gen. ital. di Clinica med. anno IV. No. 12—13.
6071. CL. ROYER. *Recherches d'optique physiologique et physique.* Bruxelles. 42 S. Monnon.

1893.

6072. K. MARBE. *Zur Lehre von den Gesichtsempfindungen, welche aus successiven Reizen resultiren.* Diss. Bonn. — Wundt's Philos. Stud. IX. S. 384—399.
6073. A. CHARPENTIER. *Démonstration directe de la différence de temps perdu suivant les couleurs.* Arch. de Physiol. (5.) V. 3. S. 568—571.

1894.

6074. K. MARBE. *Vorrichtung zur successiven Variirung der Sectoren rotirender Scheiben und zur Ablesung der Sectorenverhältnisse während der Rotation.* Centralbl. f. Physiol. Heft 25. S. 1—4.

---

§ 23.

Die Veränderungen der Reizbarkeit.

Hinsichtlich der Adaptation ist auch die Litteratur von § 21 1, hinsichtlich der positiven Nachbilder die Litteratur von § 22 zu beachten.

1100.

6075. Alhazen. *Opticae thesaurus.* Basel. 1572. lib. III, cap. V.

1593.

6076. J. B. Porta. *De refractione optices parte libri novem.* Neapel. lib. III, prop. 7.

1613.

6077. D'Aguilon. *Francisci Aguilonii opticorum libri sex.* Antwerpen. lib. I, prop. 52. S. 56 u. 57.

1634.

6078. Peirescii *Vita.* S. 175. 296.

1644.

6079. Descartes. *Dioptrice et Meteora.* Amsterdam. Kap. 6. § IV.

1646.

6080. Athan. Kircher. *Ars magna lucis et umbrae.* S. 162.

1668.

6081. Mariotte. *Oeuvres.* S. 318.

1674.

6082. Milliet Dechales. *Cursus seu Mundus Mathematicus.* Lyon III. lib. 2. prop. LXIII.

1689.

6083. De la Hire. *Dissertation sur les différents accidents de la vue.* 1re part. § 16. Mém. de l'Acad. des sc. de Paris IX (veröffentl. 1730) (bei Porterfield. *On the eye.* I. S. 343).

6084. I. Newton. *Experiments on ocular spectra produced by the action of the sun's light on the retina.* Edinb. Journ. of Sc. IV. S. 75.

1691.

6085. J. Newton. *Brief vom 30. Juni 1691.* Mitgetheilt in Newton's Leben von Brewster, übersetzt von Goldberg. Leipzig. 1833. S. 263—265.

1699.

6086. Malebranche. *Réflexions sur la lumière et les couleurs, etc.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris.

1738.

6087. Jurin. *Essay on distinct and indistinct vision.* S. 176. In Smith's Optics. Cambridge.

1743.

6088. Buffon. *Dissertation sur les couleurs accidentelles.* Mém. de Paris. S. 147.

1755.

6089. De Bergen. *De maculis et faculis a solis aspectu in oculo residuis.* Nova acta Acad. Naturae curiosor. I. S. 188. 1757.

6090. Nollet. *Leçons de physique expérimentale.* V. S. 509 u. 510.

1761.

6091. Scherffer. *Diss. de coloribus accidentalibus.* Viennae.

1765.

6092. Scherffer. *Abhandlung von den zufälligen Farben.* Wien; übers. im Journ. de Physique de Rozier. XXVI. S. 175 und 273.

6093. Aepinus. *De coloribus accidentalibus.* Nov. Com. Acad. Petr. X. S. 282. Journ. de Physique. 1776. XXVI. S. 291.

1769.

6094. B. Franklin. *New experiments and observations.* London. S. 469. — Journ. de phys. de Rozier. 1773. II. S. 383.

1775.

3095. Mongez. *Lettre sur une dégradation des couleurs.* Journ. de phys. de Rozier. VI. S. 481.

3096. Rozier. Journ. de phys. de Rozier. VI. S. 486.

3097. Scherffer. *Institutionum opticarum partes quatuor.* Wien. Th. I. cap. II. art. III.

1776.

3098. De Godart. *Premier mémoire d'optique, ou explication d'une expérience de M. Franklin.* Journ. de phys. de Rozier. VII. S. 509.

3099. — *Deuxième mémoire d'optique, ou recherches sur les couleurs accidentelles.* Journ. de phys. de Rozier. VIII. S. 1.

3100. — *Troisième mémoire d'optique, ou suite de celui sur les couleurs accidentelles.* Journ. de phys. de Rozier. VIII. S. 269.

1781.

3101. Kratzenstein. *Afhandling om det menneskelige öies achromatiske beskaffenhed.* Nouv. collect. des mém. de la Soc. roy. Danoise d. sc. I. S. 131. Kopenhagen.

1786.

3102. E. Darwin. *On the ocular spectra of light and colours.* Phil. Trans. Vol. 76. S. 313.

1787.

3103. *Dissertation sur les couleurs accidentelles.* Journ. de phys. de Rozier. XXX. S. 407.

1792.

3104. Wells. *An essay upon single vision with two eyes; together with experiments and observations on several other subjects in optics.* London.

1794.

3105. E. Darwin. *Zoonomia or the law of organic life.* London. — Deutsche Uebersetzung von Brandis. Hannover 1795. II. S. 387.

1796.

3106. Voigt. *Beobachtungen und Versuche über farbiges Licht, Farben und ihre Mischung.* Gren's Journ. d. Phys. III. S. 235.

1798.

3107. Comparetti. *Observationes dioptricae et anatomicae de coloribus apparentibus.* Patav.

1802.

3108. Troxler. *Ueber das Verschwinden gegebener Gegenstände innerhalb unseres Gesichtskreises.* Himly und Schmidt Ophthalmolog. Bibliothek. Bd. I, St. 2, S. 1—20, Bd. II, St. 2, S. 40.

1803.

3109. Himly. *Einiges über die Polarität der Farben.* Ophthalm. Biblioth. I. (2.) S. 1.

1804.

3110. Prieur de la Cote d'or. *Bemerkungen über die Farben und einige besondere Erscheinungen derselben.* Ann. d. Chim. LIV. S. 1. — Gilb. Ann. XXXI. S. 315.

3111. Troxler. *Präliminarien zur physiologischen Optik.* Ophthalm. Biblioth. v. Himly. II. (2.) S. 54 u. (3.) S. 1.

1810.

3112. J. W. v. Goethe. *Zur Farbenlehre.* I. S. 13. 20.

1816.

3113. *Ueber physiologe Gesichts- und Farbenerscheinungen.* Schweigger's Arch. Bd. 16. S. 121—157.

1817.

3114. Schulz. *Ueber physiologische Farbenerscheinungen, insbesondere das phosphorische Augenlicht als Quelle derselben betrachtet.* In Goethe für Naturwiss. II. S. 20. 38.

1819.

3115. Purkinje. *Beiträge zur Physiologie der Sinne.* I. S. 92.

1826.

3116. J. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes.* Coblenz. S. 401.

1830.

3117. Lehot. *Nouvelle explication des couleurs accidentelles.* Ann. des sciences d'observ. par Saigey et Raspail. III. (3.) S. 329. Froriep's Notizen XXVIII. S. 177; Fechner's Repertorium 1832. S. 229.

3118. Gergonne in seinem Journ. de Mathem. XXI. S. 291.

1833.

6119. D. Brewster. Philos. Mag. II. S. 89; IV. S. 354. Pogg. Ann. XXIX.
6120. J. Plateau. *Sur le phénomène des couleurs accidentelles.* Ann. de chim. et de phys. LIII. S. 386. LVIII. S. 337; Pogg. Ann. XXXII. S. 543.

1834.

6121. J. Plateau. *Essai d'une Théorie génér. comprenant l'ensemble des apparences visuelles, qui succèdent à la contemplation des objets colorés et de celles, qui accompagnent cette contemplation, c'est-à-dire la persistance des impressions de la rétine, les couleurs accidentelles, l'irradiation, les effets de la juxtaposition des couleurs, les ombres colorées.* Bruxelles. Mém. de l'Acad. de Belgique. VIII.
6122. D. Brewster. *On the connexion of the physical sciences, by Mrs. Sommerville.* Edinb. Review. LIX. S. 154 u. 160.
6123. — *On the influence of successive impulses of light upon the retina.* Philos. Mag. (3.) IV. S. 241—245.
6124. — *Account of two experiments on accidental colours, with observations on their theory.* Philos. Mag. (3.) IV. S. 353—354.
6125. Gherard. *De visione, quae duobus simul oculis, vel alter utro tantum exercetur; item de nonnullis prästantibus phänominis visionis quae fit ope vitrorum coloratorum, deque coloribus quos vocant accidentales, eorumque theoria.* Novi commentarii Acad. Scient. Instituti Bononiensis. I. S. 349 u. 362.
6126. J. Plateau. *Sur un phénomène de couleurs accidentelles.* Corresp. math. et phys. de Quetelet. VIII. S. 511.

1835.

6127. G. Th. Fechner. *Ueber einige Erscheinungen des Sinnengedächtnisses.* Fechner's Centralblatt. Jahrg. I. S. 775.

1836.

6128. Osann. *Ueber Ergänzungsfarben.* Pogg. Ann. XXXVII. S. 287.
6129. J. Plateau. *Berichtigung, veranlaſst durch einen Aufsatz des Herrn Prof. Osann.* Pogg. Ann. XXXVIII. S. 626.

1837.

6130. Osann. *Einige nachträgliche Bemerkungen zu meinem Aufsatz über Ergänzungsfarben.* Pogg. Ann. XLII. S. 72.
6131. J. Plateau. *Réponse aux objections publiées contre une théorie générale des apparences visuelles dues à la contemplation des objects colorés.* Corresp. math. et phys. de Quetelet. IX. S. 97.

1838.

6132. G. Th. Fechner. *Ueber die subjectiven Complementärfarben.* Pogg. Ann. XLIV. S. 221—245; 513—530.
6133. — *Scheibe zur Ergänzung subjectiver Complementärfarben.* Pogg. Ann. XLV. S. 227.

1839.

6134. D. Brewster. *Observations on Prof. Plateau's defence of his theory of accidental colours.* Phil. Mag. XV. S. 435.

1840.

6135. G. Th. Fechner. *Ueber die subjectiven Nachbilder und Nebenbilder.* Pogg. Ann. L. S. 193—221, 427—465.
6136. Splittgerber. *Methode, subjective und complementäre Farbenerscheinungen zu erregen.* Pogg. Ann. IL. S. 587.
6137. D. Brewster. Phil. Mag. XXIII. S. 354. Pogg. Ann. LXI. S. 138. (Combination der verlöschenden Eindrücke mit complementären.)
6138. Tourtual. *Bericht über die Leistungen im Gebiete der Physiologie der Sinne, im Besonderen des Gesichtssinnes.* Müller's Arch. S. 1.

1841.

6139. Knochenhauer. *Ueber Blendungsbilder.* Pogg. Ann. LIII. S. 346.

1842.

6140. Pickford. *Beiträge zur Kenntniſs des Sehens in subjectiver Hinsicht.* Heidelberg.
6141. Fischer. *Ueber die chromatischen Erscheinungen der Blendungsbilder.* Verhandl. d. Naturforsch.-Ges. in Basel. V. S. 240. 1843.

1844.

6142. Transon. Institut No. 556. S. 284.

1845.

6143 Wheatstone. *Sur un effet singulier de juxtaposition de certaines couleurs dans des circonstances particulières.* Inst. No. 582. S. 75.

1846.

6144. Coates. *Ocular spectra.* Proc. of the Americ. Philos. Soc. IV. S. 239.

1847.

6145. H. W. Dove. *Ueber subjective Farbenerscheinungen bei einem Farbenkreisel, und eine darauf gegründete Methode, seine Umdrehungsgeschwindigkeit zu bestimmen.* Pogg. Ann. LXXI. S. 112.

1848.

6146. H. W. Dove. *Ueber Scheiben zur Darstellung subjectiver Farben.* Pogg. Ann. LXXV. S. 526.

6147. Grüel. *Ueber einen Apparat für subjective Farbenerscheinungen.* Pogg. Ann. LXXV. S. 524.

6148. H. Taylor. *On the apparent motion of the figures in certain patterns of blue and red worsted.* Phil. Mag. XXXIII. S. 345; Froriep's Notizen IX. S. 33; Arch. d. sc. phys. et nat. X. S. 304.

1849.

6149. J. Plateau. *Quatrième note sur de nouvelles applications curieuses de la persistance des impressions sur la rétine.* Bull. de l'Acad. de Belg. XVI. (2.) S. 254.

1850.

6150. J. M. Seguin. *Sur les couleurs accidentelles.* Compt. Rend. XXXIII. S. 642. XXXIV. S. 767—768. XXXV. S. 476. — Phil. Mag. (4.) III. S. 77. — Sillim. Journ. (2.) XIII. S. 441.

6151. Sinsteden. *Ueber einen neuen Kreisel zur Darstellung subjectiver Complementärfarben und eine eigenthümliche Erscheinung, welche die Orangefarbe dabei zeigt.* Pogg. Ann. LXXXIV S. 45.

152. E. Brücke. *Untersuchungen über subjective Farben.* Pogg. Ann. LXXXIV. S. 418. Wien. Denkschr. III. S. 95; Arch. d. sc. phys. et nat. XIX. S. 122.

153. Minich. *Sui colori accidentali.* Atti dell'Istituto Veneto di sc. lettere ed arti.

1852.

154. W. R. Grove. *On a mode of reviving dormant impressions on the retina.* Phil. Mag. (4.) III. S. 435—436; Inst. S. 251—252. Arch. d. sc. phys. et nat. XX. S. 227—228; Cosmos I. S. 237—238.

155. H. W. Dove. *Zur Erklärung der flatternden Herzen.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 402.

1854.

156. J. J. Oppel. *Ueber das Phänomen der flatternden Herzen.* Jahresber. d. Frankfurter Vereins 1853—1854. S. 50—52; Hallesche Zeitschr. für Naturwissenschaft. V. S. 319.

157. W. Scoresby. *An inquiry into some of the circumstances and principles which regulate the production of pictures on the retina of the human eye with their measure and endurance, their colours and changes.* Phil. Mag. (4.) VII. S. 218—221; VIII. S. 544. Inst. S. 154—156; Proc. of Roy. Soc. VI. S. 380—383. VII. S. 117—122. Athen. S. 1272.

58. J. M. Seguin. *Recherches sur les couleurs accidentelles.* Ann. de Chim. et de Phys. (3.) XLI. S. 413—431.

1855.

59. S. Marianini. *Sur une manière de voir facilement les couleurs accidentelles.* Arch. d. sc. phys. XXX. S. 325; Cimento. I. S. 165.

1856.

60. van Breda. *Eenige waarnemingen over de zoogenaamde nabeelden.* Acad. van Wetenschap. te Amsterdam. afdeel. Natuurk. V. S. 342.

61. J. M. Seguin. *Couleurs accidentelles.* Cosmos. IX. S. 39.

62. Vierordt. Arch. f. physiol. Heilkde. Heft 2.

1857.

63. Melsens. *Recherches sur la persistance des impressions de la rétine.* Bull. de Bruxelles. (2.) III. 214—252. Cl. d. sc. S. 735—777.

1858.

64. H. Helmholtz. *Ueber Nachbilder.* Ber. über die 34. Vers. deutscher Naturf. in Carlsruhe. S. 225—226.

65. — *Ueber die subjectiven Nachbilder im Auge.* Niederrhein. Sitzgs.-Ber. S. 98—100.

6166. H. Aubert. *Ueber das Verhalten der Nachbilder auf den peripherischen Theilen der Netzhaut.* Moleschott, Unters. z. Naturlehre IV. S. 215—239.
6167. J. M. Séguin. *Note sur les couleurs accidentelles.* Compt. Rend. XLVII. S. 198—200.

1859.

6168. H. Aubert. *Ueber die durch den electrischen Funken erzeugten Nachbilder.* Moleschott, Unters. z. Naturlehre. V. S. 279—314.

1861.

6169. J. Smith. *On the chromascope.* Rep. of Brit. Assoc. 1860. 2. S. 65—66. 1861. 2. S. 33.

1862.

6170. H. Aubert. *Untersuchungen über die Sinnesthätigkeiten der Netzhaut.* Pogg. Ann. CXV. S. 87—116. CXVI. S. 249—278.
6171. E. Rose. *Presentations of colour produced under novel conditions.* Rep. of Brit. Assoc. 1861. 2. S. 33. (Aus intermitttirendem Weiss und Schwarz.)

1863.

6172. M. Bokowa. *Ein Verfahren, künstliche Farbenblindheit hervorzubringen.* Zeitschr. f. rat Med. (3.) XVII. S. 161.

1864.

6173. H. Aubert. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau. S. 347—386.

1865.

6174. E. Brücke. *Ueber Ergänzungsfarben und Contrastfarben.* Wien. Sitzs.-Ber. LI.
6175. Ladame. *Sur les couleurs accidentelles.* Bull. de la Soc. des Sc. nat. de Neuchâtel. VII. 1864—67. S. 84.
6176. E. Mach. *Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut.* I. Wien. Ber. Bd. 52. S. 308—322.
6177. F. Burckhardt. *Die Contrastfarben im Nachbilde.* Verh. d. naturf. Ges. i. Basel. IV. S. 263—285.

1866.

6178. F. Burckhardt. *Die Contrastfarben im Nachbilde.* Pogg. Ann. Bd. 129. S. 529 bis 548.
6179. Laborde. *Impressions persistantes de la lumière; comment elles s'accomplissent dans les yeux.* Mondes. XI. S. 576—582. Pogg. Ann. Bd. 129. S. 660. Compt. Rend. Bd. 63. S. 87.
6180. E. Mach. *Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut.* II. Wien. Ber. Bd. 54. (2.) S. 131—134. — III. Wien. Ber. Bd. 54. (2.) S. 393.
6181. C. F. Müller. *Versuche über den Verlauf der Netzhautermüdung.* Inaug.-Diss. Zürich.

1867.

6182. E. Chevreul. *Observations à propos d'une communication de M. Decharme sur divers phénomènes de vision.* Compt. Rend. LXV. S. 612—613.
6183. Czerny. *Ueber Blendung der Netzhaut durch Sonnenlicht.* Sitzgs.-Ber. d. königl. Acad. d. Wiss. II. Abth. Oct.-Heft. B. LVI.
6184. H. W. Dove. *Optische Notizen. I. Vereinigung prismatischer Farben zu Weiſs; II. Ueber subjektive Farben durch elektrische Beleuchtung.* Pogg. Ann. Bd. 131. S. 651—655.
6185. Th. W. Engelmann. *Ueber Scheinbewegung in Nachbildern.* Jenaische Zeitschr. f. Med. u. Naturwiss. Bd. III. S. 443.
6186. — *Over schijnbewegingen bij nabeelden.* Ned. Arch. III. S. 114.
8187. A. Rollet. *Zur Lehre von den Contrastfarben und dem Abklingen der Farben.* Wien. Ber. Bd. 55. 2. S. 424—432.

1868.

6188. Czerny. *Ueber Blendung der Netzhaut durch Sonnenlicht.* Wien. Ber. LVI. 2. S. 409—428.
6189. E. Mach. *Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut.* IV. Wien. Ber. Bd. 57. (2.) S. 11—19.
6190. Monoyer. *Idée d'une nouvelle théorie entièrement physique des images consécutives.* Bull. de la Soc. des Sc. nat. de Strassbourg. I. S. 58 u. 65.

1870.

6191. Dvorák. *Versuche über die Nachbilder von Reizveränderungen.* Wien. Acad. Ber. Bd. 61. Abth. 2. S. 257.

192. C. Marangoni. *Nuovo metodo di sviluppare nell' occhio le immagini accidentali abbaglianti.* Nuov. Cim. (2.) III. S. 132—147. Rendic. Lomb. (2.) III. 1. S. 189—196.

193. J. M. Séguin. *Mémoire sur les images accidentelles des objets blancs.* Compt. Rend. Bd. 70. S. 322—323.

194. Tait. *Note on a singular property of the retina.* Edinb. Proc. 1869/70. VII. S. 605—607.

1871.

195. E. Adamück und M. Woinow. *Beiträge zur Lehre von den negativen Nachbildern.* Arch. f. Ophthalm. XVII. 1. S. 135.

196. J. K. Becker. *Zur Lehre von den subjectiven Farbenerscheinungen.* Pogg. Ann. Supplem. Bd. V. S. 305.

197. Dubrunfaut. *Vision.* Inst. S. 102.

1872.

98. A. S. Davis. *On recurrent Vision.* Phil. Mag. (4.) XLIV. S. 526.

99. Dvořák. *Über Analoga der persönlichen Differenz zwischen beiden Augen und den Netzhautstellen desselben Auges.* Wien. Ber. 8. März 1872.

00. S. Exner. *Ueber den Erregungsvorgang im Sehnervenapparate.* Wien. Sitzungsber. LXV. (3.) S. 59.

01. E. Hering. *Zur Lehre vom Lichtsinn. I. Ueber successive Lichtinduction.* Wien. Ber. (3.) LXVI. S. 5—24.

02. Marangoni. *Neue Methode, die Blendungsbilder im Auge zu entwickeln.* Pogg. Ann. Bd. 146. S. 115.

03. C. A. Young. *Note on Recurrent Vision.* Nature. V. S. 512. Sill. Journal (3.) III. S. 262. Naturf. V. S. 200. Phil. Mag. (4.) XLIII. S. 343.

1873.

04. Delboeuf. *Étude psychophysique. Recherches théoriques et expérimentales sur la mesure des sensations, et spécialement des sensations de lumière et de fatigue.* Acad. de Belg. Bd. XXIII.

05. E. Hering. *Zur Lehre vom Lichtsinn. III. Ueber simultane Lichtinduction und über successiven Constrast.* Wien. Ber. (3.) LXVIII. S. 229—244.

06. Lamey. Mondes. (2.) XXXII. S. 442..

07. Ragona Scina. *Su taluni fenomeni di colorazione soggettiva.* Mem. dell'Acad. di Modena. XIV. S. 7.

1874.

08. W. Schön. *Einfluss der Ermüdung auf die Farbenempfindung.* Arch. f. Ophthalm. XX. (2.) S. 273.

1875.

9. S. Exner. *Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Processe. IV. Abh. Die Empfindungszonen des Sehnervenapparates.* Pflüger's Arch. XI. S. 581—602.

0. J. Plateau. *Sur les couleurs accidentelles ou subjectives.* Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. 2me Ser. T. 39. No. 1. S. 100—119. 1. Janvier.

1. Reymond. *Stato torpido e hemeralopico della Retina.* Ann. d'Ottalm. IV. S. 40 bis 112.

2. A. Riccò. *Sulla successione e persistenza delle sensazioni dei colori.* Atti della R. Acad. di sc. in Modena XVI.

3. H. Walb. *Ueber periodische Ermüdung des Auges.* Klin. Monatsbl. für Augenheilkde. XIII. S. 195—199.

1876.

4. Dönhoff. *Beiträge zur Physiologie. IV. Ueber oscillirende Gesichtsempfindungen.* Arch. f. anat. Physiol. u. wiss. Med. (4.) S. 459.

5. H. Hartshorne. *On some disputed points in physiological optics.* Proc. of the Amer. philos. Soc. XVI. S. 218 u. 221.

6. Kleiner. *Interessante physiologisch-optische Beobachtungen.* Gäa XII. S. 378. — Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. Zürich. XX. S. 488.

7. H. Morton. *Ein neues Chromatrop.* Pogg. Ann. Bd. 157. S. 150—155.

8. J. Plateau. *Sur les couleurs accidentelles ou subjectives.* Bull. de l'acad. roy. de Belgique. 2. sér. XLII. No. 9, 10 und 11.

9. Riccò. *Esperienze cromostroboscopiche.* Annuario della Soc. dei Naturalisti in Modena. X. fasc. 1.

1877.

6220. E. Chevreul. *Sur un phénomène de l' insolation de l'oeil, qui n'a point encore été expliqué.* Compt. Rend. Bd. 84. S. 895—900.
6221. P. Cintolesi. *Sopra un fenomeno d'ottica fisiologica; Nota preliminare.* Nuovo Cimento. (3.) II.
6222. J. v. Kries. *Ueber Ermüdung des Sehnerven.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. 2. S. 1—43.
6223. O. N. Rood. *Observations on a property of the retina first noticed by Tait.* Sillim. Journ. XIII. S. 32

1878.

6224. P. Cintolesi. *Notice relative à quelques phénomènes subjectifs observés dans l'illumination intermittente de la rétine.* Arch. des sc. phys. et nat. T. 63. S. 249.
6225. S. Exner. *Zur Kenntnifs von der Regeneration in der Netzhaut.* Pflüger's Arch. XVI. S. 407.
6226. Richet. *Excitabilité de la rétine.* Progr. méd. No. 45. S. 859.

1879.

6227. J. Aitken. *A new variety of ocular spectrum.* Proc. of the Roy. Soc. of Edinburgh. Vol. X. — Journ. of anat. and phys. XIII. 3.
6228. E. Chevreul. *Sur les pirouettes complémentaires.* Compt. Rend. Bd. 88. S. 727.
6229. S. Exner. *Weitere Untersuchungen über die Regeneration in der Netzhaut und über Druckblindheit.* Pflüger's Arch. XX. S. 614—626.
6230. P. Cintolesi. *Intorno alle immagini accidentali o soggettive.* Ann. di Ottalm. Anno VIII. fasc. 2 u. 3.
6231. Richet und Breguet. *Influence de la durée et de l'intensité sur la perception lumineuse.* Compt. Rend. Bd. 88. S. 239—240. — Gaz. hebd. No. 7. — Arch. génér. de méd. April.

1880.

6232. J. Plateau. *Une application des images accidentelles.* Bull. de l'Acad. de Belgique. 2 sér. T. XLIX. No. 5.
6233. Richet und Breguet. *De l'influence de la durée de l'intensité de la lumière sur la perception lumineuse.* Arch. de phys. (2.) VII. S. 689—696.
6234. J. M. Séguin. *Images accidentales des objets blancs.* Ann. de Chim. et de Phys. (5.) XIX. S. 450—464.
6235. Thompson. *A new illustration of persistance of vision.* Journ. of the Franklin Institute. (3.) LXXIX. S. 53.

1881.

6236. A. Charpentier. *Illumination violette de la rétine, sous l'influence d'oscillations lumineuses.* Compt. Rend. Bd. 92. No. 7. S. 355—357.
6237. E. Emmert. *Gröfsenverhältnisse der Nachbilder.* Kl. Monatsbl. f. Augenheilkde December.
6238. H. Kuhnt. *Ueber farbige Lichtinduction.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (3.) S. 1.
6239. J. Plateau. *Une application des images accidentelles.* Bull. de l'Acad. Roy. de Belgique (3.) II. 9/10.
6240. Smith. *Apparent decomposition of sun-light by intermittent reflecting surfaces.* Nature. XXIV. S. 141.

1882.

6241. R. Deutschmann. *Ueber Blendung der Netzhaut durch directes Sonnenlicht.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXVIII. (3.) S. 241.
6242. Haab. *Ueber die Schädigung der Augen durch Sonnenlicht.* Corr.-Bl. f. Schw. Aerzte. No. 12. S. 381.
6243. J. B. Hannay. *Colour-Perception.* Nature. Vol. XXV. S. 604.
6244. Macé de Lépinay et W. Nicati. *Sur un phénomène d'optique physiologique.* Journ. de Phys. (2.) I. S. 86.
6245. D. Oughton. *Motor diathesis of the secondary perceptions.* Lancet. S. 134.
6246. — *Composition, resolution and abeyance of secondary perceptions.* Lancet. S. 106
6247. J. Plateau. *Sur les sensations que l'auteur éprouve dans les yeux.* Bull. Bruxelles (3.) III. S. 241—243.
6248. Pouchet. *Sur une espèce particulière des images consécutives d'origine cérébrale.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 301.

249. Napier Smith. *Colour-Perception.* Nature. XXVI. S. 3.
250. Swan. *Perception of Colour.* Nature. XXVI. S. 246.

1883.

251. A. Charpentier. *Recherches sur la vitesse des réactions d'origine rétinienne.* Arch. de physiol. norm. et pathol. I. S. 599.
252. Reich. *Blendung durch Beobachtung einer Sonnenfinsternifs.* Wratsch. No. 45 und 46.

1884.

253. G. St. Clair. *Spectrum colours, colour sensations and after images. Suggestions for extending the dynamical theory.* Proc. of the Birmingh. Phil. Soc. Vol. IV. Part. I. S. 116. — Ophthalm. Rev. III. S. 97.
254. E. O. Erdmann. *Ueber ungleiche Ermüdung centraler und peripherischer Theile der Netzhaut.* Verhandl. d. phyikal. Gesellsch. zu Berlin. 22. Febr.
255. S. Exner. *Ueber den Sitz der Nachbilder im Centralnervenorgan.* Exner's Rep. d. Phys. Bd. XX. S. 374.
256. Le Roux. *De la dislocation mécanique des images persistentes.* Acad. des Sc. Sitzung vom 20. October.
257. J. Royce. *Afterimages.* Science. III. S. 321.
258. M. v. Vintschgau und A. Lustig. *Zeitmessende Beobachtungen über die Wahrnehmung des sich entwickelnden positiven Nachbildes eines electrischen Funkens.* Pflüger's Arch. XXXIII. S. 494.

1885.

259. S. Bidwell. *On certain spectral images produced by a rotating vacuum tube.* Nature. XXXII. S. 30—31.
260. — *Ocular After-Images and Lightning.* Nature. XXXII. S. 101—102.
261. A. Charpentier. *Sur la durée de l'adaptation de la rétine à l'obscurité.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. II. S. 310.
262. — *Recherches sur la perception différentielle successive.* Arch. d'Ophthalm. S. 1.
263. A. S. Davis. *Ocular After-Images and Lightning.* Nature. XXXII. S. 126.
264. Féré und A. Londe. *Observations pour servir à l'histoire des effets dynamiques des impressions visuelles.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol II. S. 362.
265. W. M. Laurin. *Ocular-Images and After Images.* Nature. XXXII. S. 197.
266. H. F. Newall. *On Certain Stages of Ocular After-Images.* Nature. XXXII. S. 77—78.
267. C. F. Sinclair. *Sun-blindness.* Journ. americ. med. ass. V. S. 483.
268. Williams. *Snow blindness.* St. Louis med. and surg. Journ. XLVIII. S. 336.

1886.

269. A. Charpentier. *L'inertie rétinienne et la théorie des perceptions visuelles.* Arch. d'ophthalm. S. 114.
270. — *Expériences sur la marche de l'adaptation rétinienne.* Arch. d'Ophthalm. S. 294.
271. Hoffmann. *Ueber die Schneeblindheit und einige verwandte Blendungserscheinungen.* Mitth. d. deutsch. u. österr. Alpenvereins. No. 6.
272. E. P. Le Roux. *Sur les images secondaires ou de persistance.* Compt. Rend. CII. S. 166—168.
273. Ch. A. Oliver. *Subjective After-Color. (Complementary-Color.)* Proc. Amer. Phil. Soc. XXIII. S. 500—502.

1887.

274. J. v. Kries. *Entgegnung an Herrn E. Hering.* Pflüger's Arch. XLI. S. 389—397.

1888.

275. A. Berlin. *Om snöblindhet.* Nord. med. arkiv. XX. No. 3.
276. E. Hering. *Ueber die von J. von Kries wider die Theorie der Gegenfarben erhobenen Einwände.* 1. Mittheilung. *Ueber die Unabhängigkeit der Farbengleichungen von den Erregbarkeitsveränderungen des Sehorgans.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 42. S. 488—506.
277. — *Ueber die von J. von Kries wider die Theorie der Gegenfarben erhobenen Einwände.* 2. Mittheilung. *Ueber successive Lichtinduction und sogenannte negative Nachbilder.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 43. S. 264—288.
278. — *Ueber die von J. von Kries wider die Theorie der Gegenfarben erhobenen Einwände.* 3. Mittheilung. *Ueber die sogenannten Ermüdungserscheinungen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 43. S. 329—346.

6279. T. Inouye. *Sehstörung durch Beobachtung der Sonnenfinsternifs.* Ber. d. Augenklinik. Tokio.

1889.

6280. A. E. Fick und A. Gürber. *Ueber Netzhauterholung.* Ber. d. Ophthalm. Ges. in Heidelberg. 1889. S. 54.

6281. Ssamujlow. *Zur Frage der Ermüdung der Netzhaut durch verschiedene Farben.* St. Petersb. med. Wochenschr. No. 3. — Arch. f. Augenheilkde. XXI. 1. S. 119. — Wjestnik Ophthalm.' 1889. No. 2. — Diss. Petersb. — Tagebl. d. III. Congr. d. russ. Aerzte. S. 287.

6282. *Fatigue of sight.* Science. XIII. S. 41.

1890.

6283. A. Charpentier. *Dédoublement de la sensation lumineuse.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. II. No. 18. S. 267—269.

6284. W. B. Croft. *Experiment in Subjective Colours.* Nature. Vol. 42. No. 1086.

6285. H. Ebbinghaus. *Ueber Nachbilder im binocularen Sehen und die binocularen Farbenerscheinungen überhaupt.* Pflüger's Arch. XLVI. S. 498—509.

6286. S. Exner. *Das Verschwinden der Nachbilder bei Augenbewegungen.* Zeitschr. f. Psychol. I. S. 47—52.

6287. A. E. Fick. *Ueber Erholung der Netzhaut.* Sitzgs.-Ber. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg. No. 9.

6288. A. E. Fick und A. Gürber. *Ueber Erholung der Netzhaut.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. 2. S. 245—301.

6289. C. Hess. *Ueber die Tonänderungen der Spectralfarben durch Ermüdung der Netzhaut mit homogenem Lichte.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. 1. S. 1—32.

1891.

6290. A. Charpentier. *Expériences démontrant la production de vibrations dans l'appareil visuel sous l'influence des excitations lumineuses.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol III. S. 355—356.

6291. — *Oscillations rétiniennes.* Compt. Rend. CXIII. No. 3. S. 147—150.

6292. A. Chauveau. *Instrumentation pour l'exécution des diverses expériences relatives à l'étude du contraste binoculaire.* Compt. Rend. Bd. 113. S. 442—446.

6293. E. Hering. *Ueber Ermüdung und Erholung des Sehorgans.* Graefe's Arch. f Ophthalm. XXXVII. 3. S. 1—36.

6294. C. Hess. *Untersuchungen über die nach kurzdauernder Reizung des Sehorganes auftretenden Nachbilder.* Pflüger's Arch. XLIX. S. 190—208.

6295. A. Szili. *Zur Erklärung der flatternden Herzen.* Du Bois' Arch. S. 157—163.

1892.

6296. A. Charpentier. *Réaction oscillatoire de la rétine sous l'influence des excitations lumineuses.* Arch. de Physiol. (5.) IV. S. 541—553.

6297. — *Propagation à distance de la réaction oscillatoire de la rétine.* Arch. de Physiol (5.) IV. S. 629—639.

6298. E. S. Ferry. *Persistence of vision.* The Americ. Journ. of Sc. (3.) XLIV. S. 192

6299. A. E. Fick. *Entgegnung an E. Hering in Sachen der Netzhauterholung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVIII. 3. S. 300—304.

6300. — *Ueber Ermüdung und Erholung der Netzhaut.* Graefe's Arch. f. Ophthalm XXXVIII. S. 118—126.

6301. E. Hering. *Bemerkungen zu E. Fick's Entgegnung auf die Abhandlung über Ermüdung und Erholung des Sehorganes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVIII. 2 S. 252—258.

6302. A. Szili. *Flatternde Herzen.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 359—387.

6303. Th. Wertheim. *Eine Beobachtung über das indirecte Sehen.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 172—174.

6304. J. Widmark. *Om bländning af näthinnam.* (Blendung der Netzhaut.) Nord ophthalm. Tidsskr. V. 2. S. 57.

6305. — *Ueber Blendung der Netzhaut.* Skand. Arch. f. Physiol. IV. S. 281—295.

6306. A. E. Wright. *A suggestion as to the possible cause of the corona observed in certain after-images.* Journ. of Anat. a. Pathol. Bd. 26. S. 192—197.

1893.

6307. M. Blix. *Ueber gleichfarbige (isochromatische) Induction.* Skand. Arch. f. Physiol. V. S. 13—19.

308. L. Grossmann. *Ueber reflectorische Hyper- und Anästhesie der Retina.* Wien. med. Presse. 1893. No. 45, 46, 47.
309. E. Hering. *Offener Brief an Prof. H. Sattler.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIX. 2. S. 274—290.
310. C. Hess. *Ueber die Unvereinbarkeit gewisser Ermüdungserscheinungen des Sehorgans mit der Dreifasertheorie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIX. (2.) S. 45—70.
311. K. Marbe. *Die Schwankungen der Gesichtsempfindungen.* Phil. Stud. VIII. S. 615—637.
312. Rosenbach. *Die Farbensirene und Bemerkungen über die Entstehung der Farben.* Schles. Ges. f. vaterl. Cultur. 8. Nov. 1893.
313. A. Schapringer. *Zur Theorie der „Flatternden Herzen“.* Zeitschr. f. Psychol. V. 6. S. 385—396.
314. H. Snellen, sen. *Ueber Nachbilder.* Ber. üb. d. XXIII. Vers. d. Ophthalm. Ges. S. 4—11. — Ann. d'Ocul. Bd. 110. S. 241.
315. J. Widmark. *Ueber Netzhautblendung.* Nord. ophthalm. Tidsskr. V. S. 2.
316. P. Zeeman. *Ueber eine subjective Erscheinung im Auge.* Zeitschr. f. Psychol. VI. S. 233—235.

1894.

317. S. Bidwell. *On the recurrent images following visual impressions.* Proc. of the roy. Soc. Bd. 56. No. 337. S. 132—145.
318. H. P. Bosscha. *Primäre, secundäre und tertiäre Netzhautbilder nach momentanen Lichteindrücken.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (1.) S. 22—42.
319. C. Hess. *Bemerkung zu dem Aufsatze von Bosscha: „Primäre, secundäre und tertiäre Netzhautbilder nach momentanen Lichteindrücken.“* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (1.) S. 337—338.
320. — *Studien über Nachbilder.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (1.) S. 259—279.
321. G. Mackay. *On blinding of the retina by direct sunlight. A study in prognosis (concluded).* Ophthalm. Rev. XIII. S. 1, 41 u. 83.
322. Raia. *Ueber die Ermüdung der Augen.* Ann. di Ottalm. 1894. 3/4.

---

§ 24.

Vom Contraste.

1651.

323. Leonardo da Vinci († 1519). *Trattato della pittura.* Cap. CLVI, CC, CCCXXVIII.

1672.

324. Otto v. Guericke. *Experimenta nova, ut vocantur, Magdeburgica de vacuo spatio.* Amstelod. S. 142.

1738.

325. Jurin. *Essay on distinct and indistinct vision.* S. 170.

1743.

326. G. de Buffon. *Sur les couleurs accidentelles.* Mém. de Paris. S. 217.

1752.

327. Mazeas. *Observations sur les couleurs engendrées par le frottement des surfaces planes et transparentes.* Mém. de l'Acad. de Berlin.

1757.

328. Voltaire. *Essay sur l'histoire générale, et sur les moeurs et l'esprit des nations.* Chap. CXLII.

1760.

329. P. Bouguer. *Traité d'optique sur la gradation de la lumière.* Paris. S. 368.
330. Mellville. *Observations on light and colours. Essays and observations.* Phys. and Litt. Edinburgh. II. S. 12 u. 75.

1762.

6331. J. P. Eberhard. *Commentatio de colore aëris.* Nova acta Academiae curiosorum, II. appendix.

1764.

6332. Aepinus. *Observationes quaedam ad opticam pertinentes.* Mém. de l'Acad. de St. Petersbourg. (2.) X. S. 292.

1765.

6333. Scherffer. *Abhandlung von den zufälligen Farben.* Wien. — Journ. de phys. de Rozier XXVI. S. 175. (1785.)

1767.

6334. Beguelin. *Mémoire sur les ombres colorées.* Mém. de l'Acad. de Berlin. S. 27.

1771.

6335. Beguelin. *Sur la source d'une illusion du sens de la vue qui change le noir en couleur d'écarlate.* Nouv. Mém. de l'Acad. de Berlin. Jahrg. 1771, erschienen 1773. S. 8.

1778.

6336. v. Gleichen, gen. Russworm. *Von den Farben des Schattens.* Act. Acad. Moguntr. S. 308.

6337. Mongez. *Observations sur une décomposition de lumière faussement appelée ombres bleues.* Journ. de phys. de Rozier. XII. S. 127.

1782.

6338. H. F. T. *Observations sur les ombres colorées.* Paris.

1783.

6339. Flaugergues. *Sur les ombres colorées.* Mém. de l'Acad. de Berlin. S. 52.

6340. Opoix. *Suite des observations sur les couleurs.* Journ. de Phys. de Rozier XXIII (2.) S. 401.

6341. Lemasson Le Golet. *Lettre à M. l'Abbé Mongez.* Journ. de phys. de Rozier XXIII. (2.) S. 206.

6342. Petrini. Mem. di Math. e di Fisica del Soc. Ital. XIII. S. 11.

1787.

6343. Carvalho e Sampago. *Tratado das Cores.* Malta.

1789.

6344. Monge. *Mémoire sur quelques phénomènes de la vision.* Ann. de chim. III. S. 131

1793.

6345. Wilkens. *Ein Beitrag zu den gefärbten Schatten.* Gren's Journ. VII. S. 21.

1794.

6346. Rumford. *An account of some experiments upon coloured shadows.* Philos. Transact. I. S. 107.

1796.

6347. Voigt. *Beobachtungen und Versuche über farbiges Licht, Farben und ihre Mischung* Gren's Journ. III. S. 235.

1797.

6348. J. W. v. Goethe. *Zur Schweizerreise im Jahre 1797.*

1801

6349. Hassenfratz. *Premier mémoire sur les ombres colorées.* Journ. de l'école polytechn IV. (11.) S. 272.

1805.

6350. Petrini. *Lettera sulle ombre colorate.* Nuovo Giorn. di Pisa II. (1.) S. 45 u. 205

6351. — *Memoria sopra i colori immaginari dell' ombre.* Nuovo Giorn. di Pisa II. (3. S. 376.

6352. — *Ricerche sulla produzione de' colori immaginarj nell'ombre.* Mém. de la Soc. Ital XIII. S. 37.

6353. Prieur de la Côte d'or. *Bemerkungen über die Farben und einige besondere Erscheinungen derselben.* Gilbert's Ann. XXI. S. 315. Ann. de Chim. LIV. S. 1.

6354. Hassenfratz. *Sur les ombres colorées* Journ. de l'école polytech. XI.

1810.

6355. J. W. v. Goethe. *Zur Farbenlehre.* S. 27.

1811.

6356. Grothuss. *Ueber die zufälligen Farben des Schattens.* Schweigger's Journ. III. S. 1[illegible]

6357. v. Paula Schrank. *Ueber die blauen Schatten.* Abh. d. Münch. Akad. S. 293.

1813.

358. v. Paula Schrank. *Ueber die blauen Schatten,* Abhandl. der Münchener Akad. S. 57.

1820.

359. Muncke. *Ueber subjective Farben und gefärbte Schatten.* Schweigger's Journ. XXX. S. 47.

1826.

360. Zschokke. *Die farbigen Schatten, ihr Entstehen und ihr Gesetz.* Aarau. Unterhaltungsbl. f. Natur- u. Menschenkde. S. 49.

1827.

361. Brandes. Art.: *Farbe* in Gehler's neuem physik. Wörterb. IV. S. 124.
362. Treschel. *Sur les ombres colorées.* Biblioth. univers. XXXII. S. 3.

1828.

363. Bourgeois. *Sur un nouveau phénomène d'optique.* Bullet. de Férussac. IX. S. 179.

1829.

364. Reade. *On the nature of light and shadow, demonstrating that a black shadow can be rarefied, without refraction, into all the colours of the rainbow.* Philos. Mag. N. S. V. S. 109.

1830.

365. Hiort. *De functione retinae.* 2. Theil. §§ 7, 8, 34 u. 35
366. Tourtual. *Ueber die Erscheinungen des Schattens und deren physiologische Bedingungen, nebst Bemerkungen über die wechselseitigen Verhältnisse der Farben.* Berlin.
367. C. J. Lehot. *Eine neue Erklärung der zufälligen Farben.* Froriep's Notizen. Bd. XXVIII. S. 177—181.
368. — *Nouvelle explication des couleurs accidentelles.* Ann. des sc. d'observation par Saigey et Raspail. III. S. 329.

1831.

369. Gergonne. *Essai théorique sur les couleurs accidentelles.* Ann. de Mathém. pures et appliquées de Gergonne. XXI. S. 284.

1832.

370. Smith von Fochabers. Edinb. Journ. of Sc. V. S. 52.
371. D. Brewster. *Ueber den Versuch von Smith.* Pogg. Ann. XXVII. S. 494.
372. E. Chevreul. *Sur l'influence, que deux couleurs peuvent avoir l'une sur l'autre, quand on les voit simultanément.* Mém. de l'Acad. de Paris. XI.

1833.

373. Osann. *Beschreibung einer einfachen Vorrichtung zur Hervorbringung sogenannter complementärer Farben und Nachweisung, daſs die hiermit hervorgebrachten Farben objectiver Natur sind.* Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 694.

1834.

74. J. Müller. *Lehrbuch der Physiologie.* 2. Aufl. II. S. 372. — Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 144.
75. J. Plateau. Ann. de chim. et de phys. LVIII. S. 339. Pogg. Ann. XXXII. S. 543.

1835.

76. Tomlinson. *On the theory of accidental and complementary colours, with additional experiments and observations.* Thomson's Records of gen. sc. II. S. 283 u. IV. S. 208. (1836.)

1836.

77. Cooper. *On accidental colours and coloured shadows.* Thomson's Records. IV. S. 427.
78. Osann. *Ueber Ergänzungsfarben.* Pogg. Ann. XXXVII. S. 287.
79. Pohlmann. *Theorie der farbigen Schatten, vollständig entwickelt und durch Versuche begründet.* Pogg. Ann. XXXVII. S. 319—341.
80. J. Plateau. *Berichtigung, veranlaſst durch einen Aufsatz des Herrn Prof. Osann.* Pogg. Ann. XXXVIII. S. 626.

1837.

81. Osann. *Nachträgliche Bemerkungen zu meinem Aufsatz über Ergänzungsfarben.* Pogg. Ann. Bd. 42. S. 72.

1838.

82. *G. Th. Fechner. *Ueber die Frage, ob die sog. Farben durch den Contrast objectiver Natur seien.* Pogg. Ann. XLIV. S. 221—245 u. S. 513.

6383. H. W. Dove. *Ueber subjective Complementärfarben.* Pogg. Ann. XLV. S. 158.

1839.

6384. E. Chevreul. *De la loi du contraste simultané des couleurs.* Strasbourg.

1840.

6385. *G. Th. Fechner. *Thatsachen, welche bei einer Theorie der Farben durch den Contrast zu berücksichtigen sind.* Pogg. Ann. Bd. 50. S. 433.

1841.

6386. Schaffgotsch. *Ueber einige Apparate für subjective Farbenerscheinungen.* Pogg. Ann. Bd. 54. S. 193.

1843.

6387. G. de Buffon. *Sur les couleurs accidentelles.* Mém. de Paris. S. 247.

1847.

6388. D. Ragona Scina. *Su taluni fenomeni che presentano i cristalli colorati.* Racc. fis. chim. II. S. 207.

1848.

6389. H. W. Dove. *Ueber Scheiben zur Darstellung subjectiver Farben.* Pogg. Ann. Bd. 75. S. 524.

1851.

6390. E. Brücke. *Untersuchungen über subjective Farben.* Wien. Denkschr. III. S. 95. Pogg. Ann. LXXXIV. S. 418. Arch. d. sc. phys. et nat. XIX. S. 122.

6391. Sinsteden. *Ueber einen neuen Farbenkreisel zur Darstellung subjectiver Complementärfarben und eine eigenthümliche Erscheinung, welche die Orangefarbe dabei zeigt.* Pogg. Ann. Bd. 84. S. 45.

1852.

6392. A. Beer. *Ueber das überzählige Roth im Farbenbogen der totalen Reflexion (Contrastfarbe).* Pogg. Ann. LXXXVII. S. 113—115. Cosmos. II. S. 95.

1854.

6393. Czermak. *Physiologische Studien.* I. Theil. Wien. Acad. Ber. XII. S. 322 u. 364. (Eine Modification des Scheiner'schen Versuches.)

1855.

6394. H. Meyer. *Ueber Contrast- und Complementärfarben.* Pogg. Ann. XCV. S. 170—171. Ann. de chim. (3.) XLV. S. 507. Philos. Mag. (4.) IX. S. 547.

1857.

6395. B. Bizio. *Sopra le ombre colorate.* Venezia.

6396. — *Intorno alle ombre colorate.* Memorie dell'Istituto Veneto di sc. lettere et arti. VII. S. 393.

6397. E. Weicker. *De nonnullis coloribus complementariis quales singulis hominibus apparent.*

6398. A. Paalzow. *Ueber subjective Farben und die Entstehung des Glanzes.* Berl. Monatsber. S. 390.

1858.

6399. E. Chevreul. *Note sur quelques expériences de contraste simultanée des couleurs.* Compt. Rend. XLVII. S. 196—198. Dingler Journ. CXLIX. S. 435—436.

6400. Fournet. *Note sur certaines colorations de la lune et du soleil.* Compt. Rend. XLVII. S. 189.

1859.

6401. Babinet. *Sur les ombres bleues du 27. mai 1856.* Compt. Rend. XLVIII. S. 1007.

6402. Fournet. *Recherches sur les ombres colorées qui se manifestent à diverses heures, et diverses saisons, et sur les applications du phénomène.* Compt. Rend. XLVIII. S. 1105 u. XLIX. S. 24 u. 121.

6403. Poey. *Expériences sur les ombres prismatiques observées à La Havane en rapport avec la déclinaison du soleil et l'état atmosphérique.* Compt. Rend. XLIX. S. 362.

6404. Nardo. *Nota sulle ombre colorate ottenute col solo concorso di luce bianca.* Cimento. IX. S. 352—356. — Atti dell' Istit. Veneto. V. — Zeitschr. f. Chem. 1860. S. 18—20.

6405. D. Ragona Scina. *Su taluni fenòmeni di colorazione soggettiva.* Atti dell' Acad. Palermit. III. — Zeitschr. f. Chem. S. 20—24.

1860.

6406. H. Helmholtz. *Ueber die Contrasterscheinungen im Auge.* Verhandl. d. Naturhist. med. Vers. zu Heidelberg. 27. April. Bd. II. S. 32—33.

6407. G. Th. Fechner. *Ueber die Contrastempfindung.* Leipziger Ber. S. 71—145.

5408. G. Th. Fechner. *Einige Bemerkungen gegen die Abhandlung Prof. Osann's über Ergänzungsfarben.* Leipziger Ber. S. 146—165.

5409. Osann. *Ueber Ergänzungsfarben.* Würzb. Zeitschr. I. S. 61—77.

5410. J. J. Oppel. *Ueber farbige Schatten bewirkt durch weisses Licht.* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1859—1860. S. 65—69.

5411. E. Chevreul. *Remarques sur une question relative à la loi du contraste simultané des couleurs.* Compt. Rend. LI. S. 448.

5412. Goodchild. *Trocheidoscope.* Practical mechan. journ. April. S. 4.

5413. Magrini. *Sulle ombre colorate studiate dal signor Bassolini.* Atti dell' Istituto Lombardo di sc. lettere ed arti, Milano. II. S. 318 u. 345.

5414. Zöllner. *Ueber eine neue Beziehung der Retina zu den Bewegungen der Iris.* Pogg. Ann. CXI. S. 481 u. 660.

1861.

415. Newcomb. *On some illusions and other phenomena attendant on vision through coloured media.* Silliman's Journ. XXXI. S. 418.

416. Rossolini. *Sulle ombre colorate.* Atti dell' Istit. Lombardo. II. 318—321.

417. H. Aubert. *Beiträge zur Physiologie der Netzhaut.* Abh. d. schles. Gesellsch. 1861. 1. S. 49—103. S. 344.

1862.

418. G. Th. Fechner. *Ueber den seitlichen Fenster- und Kerzenversuch.* Leipziger Ber. S. 27—56.

1863.

419. F. Burckhardt. *Ueber Contrastfarben.* Pogg. Ann. Bd. 118. S. 303.

420. E. Chevreul. *Nouvelles expériences sur le principe du contraste simultané des couleurs et de leur mélange, en réponse à un Mémoire de M. Plateau: Sur un phénomène de couleurs juxtaposées.* Compt. Rend. LVII. S. 713.

421. J. Plateau. *Sur un phénomène de couleurs juxtaposées.* Bull. de l'Acad. de Belg. (2.) XVI. S. 139.

422. — *Réponse aux observations présentées par M. Chevreul.* Compt. Rend. LVII. S. 1029.

1865.

423. F. Burckhardt. *Die Contrastfarben im Nachbilde.* Basler Verhandl. IV. S. 263 bis 285.

424. E. Brücke. *Ueber Ergänzungs- und Contrastfarben.* Wien. Sitzgs.-Ber. LI. 2. S. 461 bis 501.

1866.

425. F. Burckhardt. *Die Contrastfarben im Nachbilde.* Pogg. Ann. Bd. 129. S. 529—548.

1867.

426. A. Rollet. *Ueber die Aenderung der Farben durch den Contrast.* Wien. Ber. LV. (2.) S. 344—357.

427. — *Zur Physiologie der Contrastfarben.* Wien. Akad.-Ber. LV. Febr.-, März- u. Maiheft. S. 741—767.

428. — *Zur Lehre von den Contrastfarben und dem Abklingen der Farben.* Wien. Ber. Bd. 55. (2.) S. 424—432.

1868.

429. Braun. *Photographies de feuillage, et couleurs de contraste.* Les Mondes (2.) XVII. S. 62.

1869.

430. G. Th. Fechner. *Ueber die Contrastempfindung.* Ber. d. königl. sächs. Ges. d. Wiss. Math.-physik. Kl. Sitzung v. 1. Juli.

431. W. Benson. *Contrast and admixture of colours.* Scient. Americ. XX. S. 257—258.

1870.

432. L. Hermann. *Die Erscheinung simultanen Contrastes.* Pflüger's Arch. f. Physiol. III. S. 13—15.

1871.

433. J. K. Becker. *Zur Lehre von den subjectiven Farbenerscheinungen.* Pogg. Ann. Ergänzungsb. V. S. 305.

434. H. W. Dove. *Ueber die subjectiven Farben an den Doppelbildern farbiger Glasplatten.* Pogg. Ann. CXLIII. S. 491. Berl. Akad.-Ber. April.

6435. DUBRUNFAUT. *Sur quelques particularités des perceptions visuelles objectives et subjectives.* Mondes XXI. S. 77. — Compt. Rend. Bd. 73. S. 752.
6436. J. J. OPPEL. *Ueber chromatische Täuschungen, den relativen Werth der Farbenbezeichnungen und das Zustandekommen unserer Farbenwahrnehmung überhaupt.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1869/70. S. 96—105.
6437. TH. WARD. *Optical Phenomenon.* Nature IV. S. 68.

1872.

6438. J. AITKEN. *On colour and colour sensation.* Proc. of the roy. Scot. Soc. of arts 1871—72.

1873.

6439. E. HERING. *Zur Lehre vom Lichtsinn. II. Ueber simultanen Lichtcontrast.* Wien Ber. (3.) LXVIII. S. 186—201.
6440. — *Zur Lehre vom Lichtsinn. III. Ueber simultane Lichtinduction und über successiven Contrast.* Wien Ber. (3.) LXVIII. S. 229—244.
6441. D. RAGONA SCINA. *Su taluni fenomeni di colorazione soggettiva.* Mem. dell'Acad. di Modena. XIV. S. 7.

1874.

6442. E. CHEVREUL. *Études des procédés de l'esprit humain dans la recherche de l'inconnu. II. L'enseignement devant l'étude de la vision, la loi du contraste simultané des couleurs.* Paris, Frimin-Didot frères, fils & Co.
6443. E. HERING. *Zur Lehre vom Lichtsinn. VI. Grundzüge einer Theorie des Farbensinnes.* Wien. Akad. Ber. LXX. (3.) S. 169.

1875.

6444. J. PLATEAU. *Sur les couleurs accidentelles ou subjectives.* Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. 2me. Ser. T. 39. No. 1. S. 100—119.
6445. C. SCHRÖDER. *Farbige Schatten.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XIII. S. 354.
6446. J. STILLING. *Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen.* Klin. Monatsbl. f. Augenhlkde. Beilageheft. XIII.
6447. WHITMELL. *Coloured shadows.* Nature. XI. S. 406.

1876.

6448. J. PLATEAU. *Sur les couleurs accidentelles ou subjectives.* Bull. de l'Acad. roy. de Belgique. 2. Ser. Tome XLII. No. 9, 10 u. 11.

1877.

6449. E. CHEVREUL. *Sur un phénomène de l'insolation de l'oeil, qui n'a point encore été expliqué.* Compt. Rend. LXXXIV. S. 895.

1878.

6450. H. COHN. *Ueber Contrastfarbenempfindung und die Unwahrscheinlichkeit ihrer Entstehung in historischer Zeit.* Allg. med. Centralztg. S. 399.
6451. — *Der Simultancontrast zur Diagnose der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenhlkde. II. S. 35—36.
6452. GRAHAM. *On complementary colours.* Nature XVIII. S. 323.
6453. J. STILLING. *Farbige Schatten bei Tageslicht.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 124.

1879.

6454. O. BECKER. *Farbige Schatten und inducirte Schatten.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XVII. S. 236.
6455. E. CHEVREUL. *Complément d'études sur la vision des couleurs.* Mém. de l'Acad. des Sc. de Paris. XLI. S. 231.
6456. P. CINTOLESI. *Intorno alle immagini accidentali o suggettive.* Ann. di Ottalm. VIII. 2 u. 3. — Nature XXI. S. 21. — Beibl. d. Psys. III. S. 711.

1881.

6457. E. DREHER. *Neue „subjective Wahrnehmungen“ auf Grund von Contrastwirkung.* Die Natur. No. 31. S. 371.
6458. W. J. HERSCHEL. *Effect of green in painted windows.* Nature XXIV. S. 583.
6459. L. MAUTHNER. *Ueber farbige Schatten, Farbenproben und erworbene Erythrochloropie.* Wien. med. Wochenschr. No. 38. 39.
6460. J. STILLING. *Simultancontrast bei Farbenprüfungen.* Centralbl. f. prakt. Augenhlkde. V. S. 129—131.
6461. E. SZILÁGYI. *Ueber Simultancontrast.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 47. S. 849.

1882.

6462. Cross. *Complementary colours.* Nature XXVII. S. 150.
6463. Madan. *Complementary colours at the falls of Niagara.* Nature XXVII. S. 174.
6464. J. Parinaud. *Du contraste chromatique.* Soc. de Biol. 22. Juli. — Gaz. des Hôp. S. 686.
6465. — *Du siège cérébral des images accidentelles ou consécutives.* Soc. de Biol. 22. April. Gaz. des Hôp. S. 459.
6466. Trécul. *Noir vu en rouge orangé.* Compt. Rend. XCV. S. 1198.
6467. Whitmell. *A natural experiment on complementary colours.* Nature. XXVI. S. 573.

1883.

6468. B. Schmerler. *Untersuchungen über den Farbencontrast vermittelst rotirender Scheiben.* Philos. Stud. I. S. 379—417.
6469. E. Chevreul. *Considérations générales sur les méthodes scientifiques et applications à la méthode a posteriori de Newton et à la méthode a priori de Leibnitz.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 1521—1545.

1884.

6470. E. Chevreul. *Sur la vision dans ses rapports avec les contrastes des couleurs.* Compt. Rend. XCVIII. S. 1309.
6471. G. H. Schneider. *Die psychologische Ursache der Contrasterscheinungen.* Zeitschr. für Philos. u. philos. Kritik. Bd. 85. S. 130—242.

1885.

6472. S. Exner. *Ueber eine neue Urtheilstäuschung im Gebiete des Gesichtssinnes.* Pflüger's Arch. XXXVII. S. 520—522.
6473. M. Heaton. *Le contraste des couleurs.* La Nature. XIII. 2. S. 110.
6474. R. Hilbert. *Zur Physiologie der Retina.* Pflüger's Arch. XXXVII. S. 123—126.
6475. — *Die subjectiven Farben und die Hering'sche Farbentheorie.* Betz's Memorabilien. XXX. (2.) N. F. V. S. 65.
6476. Rampoldi. *Sopra alcuni fenomeni di contrasto visivo.* Ann. di Ottalm.

1886.

6477. A. Charpentier. *Contraste simultané.* Progr. méd. No. 17. S. 354. Compt. Rend. CII. S. 864.
6478. E. Hering. *Ueber Sigmund Exner's neue Urtheilstäuschung auf dem Gebiete des Gesichtssinnes.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIX. S. 159—170.

1887.

6479. H. Ebbinghaus. *Die Gesetzmäfsigkeit des Helligkeitscontrastes.* Sitzgs.-Ber. d. Acad. d. Wiss. zu Berlin. II. S. 994.
6480. S. Exner. *Gegenbemerkung, „eine neue Urtheilstäuschung im Gebiete des Gesichtssinnes" betreffend.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 323.
6481. E. Hering. *Ueber den Begriff „Urtheilstäuschung" in der physiologischen Optik und über die Wahrnehmung simultaner und successiver Helligkeitsunterschiede.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLI. S. 91.
6482. — *Ueber die Theorie des simultanen Contrastes von Helmholtz.* I. Mittheilung. *Der Versuch mit den farbigen Schatten.* Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 172—191.
6483. — *Ueber die Theorie des simultanen Contrastes von Helmholtz.* II. Mittheilung. *Der Contrastversuch von H. Meyer und die Versuche am Farbenkreisel.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLI. S. 1—29.
6484. — *Ueber die Theorie des simultanen Contrastes von Helmholtz.* III. Mittheilung. *Der Spiegelcontrastversuch.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLI. S. 358—367.

1888.

6485. D. Axenfeld. *Sulla visione dei colori di contrasto.* Bull. della R. Accad. Med. di Roma. XIV. 7.
6486. E. Hering. *Ueber die Theorie des simultanen Contrastes von Helmholtz.* IV. Mittheilung. *Die subjective „Trennung des Lichtes in zwei complementäre Portionen."* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLIII. S. 1—21.
6487. — *Eine Vorrichtung zur Farbenmischung zur Diagnose der Farbenblindheit und zur Untersuchung der Contrasterscheinungen.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 42. S. 119.

1889.

6488. D. Axenfeld. *Sur la vision des couleurs de contraste.* Arch. ital. de Biol. XI. S. 81 bis 90.
6489. O. N. Rood. *On colour contrast.* Mind. XV. S. 312.

1890.

6490. E. Chevreul. *De la loi du contraste simultané des couleurs et de l'assortiment des objets colorés considéré d'après cette loi dans ses rapports avec la peinture etc.* Paris. Gauthier-Villars et fils.
6491. E. Hering. *Eine Methode zur Betrachtung des Simultancontrastes.* Pflüger's Arch. XLVII. S. 236—242.
6492. — *Beitrag zur Lehre vom Simultancontrast.* Zeitschr. f. Psychol. I. S. 18—28.
6493. A. Kirschmann. *Ueber die qantitativen Verhältnisse des simultanen Helligkeits- und Farbencontrastes.* Philos. Stud. VI. S. 417—491. — Leipzig, Dissert.

1891.

6494. A. Kirschmann. *Die psychologisch-ästhetische Bedeutung des Licht- und Farbencontrastes.* Wundt's Philos. Stud. VII. S. 362—393.
6495. A. Rollet. *Versuche über subjective Farben.* Pflüger's Arch. XLIX. S. 1—28.

1892.

6496. R. Hilbert. *Zur Kenntnifs des successiven Contrastes.* Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 74 bis 77.
6497. A. Kirschmann. *Some effects of contrast.* Americ. Journ. of Psychol. IV. 4. S. 542—557.

1893.

6498. R. Katz. *Ueber die Empfindlickeit des Auges für simultanen und succedanen Lichtcontrast.* Diss. St. Petersburg.
6499. A. A. Mayer. *Studies of the Phenomena of Simultaneous Contrast Colour, and on a Photometer for Measuring the Intensities of Lights of different Colours.* Philos. Mag. XXXVI. No. 219. S. 153—175. — Amer. Journ. of science. Vol. XLVI.

1894.

6500. W. de W. Abney. *Measurement of colour produced by contrast.* Proc. of the London Roy. Soc. LVI. No. 337. S. 221—229.
6501. C. Hess und H. Pretori. *Messende Untersuchungen über die Gesetzmäfsigkeit des simultanen Helligkeitscontrastes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XL. 4. S. 1—24.

---

§ 25.

Verschiedene subjective Erscheinungen.

Aufser den hier aufgeführten Abhandlungen ist auch ein Theil der in § 15 angegebenen Litteratur zu berücksichtigen.

1816.

6502. *Ueber physiologe Gesichts- und Farbenerscheinungen.* Schweigger's Arch. Bd. 16. S. 121—157.

1834.

6503. D. Brewster. *On the influence of successive impulses of light upon the retina.* Philos. Mag. IV. S. 241—245.
6504. M. Griffiths. *Observations on the vision of the retina.* Phil. Mag. IV. S. 43—46.

1839.

6505. A. A. Ewerbeck. *De phaenomenis opticis subjectivis.*

1844.

6506. W. Haidinger. *Ueber das directe Erkennen des polarisirten Lichts.* Pogg. Ann. LXIII. S. 29.

1846.

6507. W. Haidinger. *Ueber complementare Farbeneindrücke bei Beobachtung der Lichtpolarisationsbüschel.* Pogg. Ann. LXVII. S. 435.
6508. — *Beobachtung der Lichtpolarisationsbüschel in geradlinig polarisirtem Lichte.* Pogg. Ann. LXVIII. S. 73.

6509. W. Haidinger. *Beobachtung der Lichtpolarisationsbüschel auf Flächen, welche das Licht in zwei senkrecht auf einander stehenden Richtungen polarisiren.* Pogg. Ann. LXVIII. S. 305.

6510. Silbermann. *Essai d'explication des houppes ou aigrettes visibles à l'oeil nu dans la lumière polarisée.* Compt. Rend. XXIII. S. 624. Inst. No. 665. S. 327.

1847.

6511. v. Erlach. *Mikroskopische Beobachtungen über organische Elementartheile bei polarisirtem Licht.* Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 313.

6512. W. Haidinger. *Helle Andreaskreuzlinien in der Sehaxe.* Ber. d. Freunde d. Naturwiss. in Wien. II. S. 178. Pogg. Ann. LXX. S. 403.

6513. Botzenhart. *Polarisationsbüschel am Quarz.* Ber. d. Freunde d. Naturwiss. in Wien. I. S. 82.

6514. — *Sur une modification des houppes colorées de Haidinger.* Compt. Rend. XXIV S. 44. Inst. No. 680. S. 11. Pogg. Ann. LXX. S. 399.

1848.

6515. Jamin. *Sur les houppes colorées de Haidinger.* Compt. Rend. XXVI. S. 197. Pogg. Ann. LXXIV. S. 145. Inst. No. 737. S. 53.

1850.

6516. D. Brewster. *On the polarizing structure of the eye.* Sill. Journ. (2.) X. S. 394. Rep. of British Assoc. II. S. 5. Wien. Ber. V. S. 442.

6517. G. G. Stokes. *On Haidinger's brushes.* Sill. Journ. (2.) X. S. 394. Rep. of British Assoc. II. S. 20.

6518. W. Haidinger. *Das Interferenzschachbrettmuster und die Farbe der Polarisationsbüschel.* Wien. Ber. VII. S. 389. Pogg. Ann. LXXXV. S. 350. Cosmos. I. S. 252. 454.

1852.

6519. W. Haidinger. *Die Loewe'schen Ringe eine Beugungserscheinung.* Wien. Ber. IX. S. 240—249. Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 451—461.

1854.

6520. A. Burow. *Der gelbe Fleck im eigenen Auge sichtbar.* J. Müller's Arch. S. 166.

6521. W. Haidinger. *Dauer des Eindrucks der Polarisationsbüschel auf der Netzhaut.* Wien. Ber. XII. S. 678—680. Pogg. Ann. XCIII. S. 318—320.

6522. — *Beitrag zur Erklärung der Farben der Polarisationsbüschel durch Beugung.* Wien. Ber. XII. S. 3—9. Pogg. Ann. XCI. S. 591—601.

6523. — *Einige neuere Ansichten über die Natur der Polarisationsbüschel.* Wien. Ber. XII. S. 758—765. Pogg. Ann. XCVI. S. 314—322.

6524. G. G. Stokes. *Ueber das optische Schachbrettmuster.* Wien. Ber. XII. S. 670—677. Pogg. Ann. XLVI. S. 305—313.

1855.

6525. H. Meyer. *Ueber den die Flamme eines Lichtes umgebenden Hof, sowie Beiträge zu „Unempfindlichkeit der Netzhaut in der Nähe starker Lichteindrücke", „Mondhöfe", „Löwe'sche Ringe" u. s. w.* Pogg. Ann. Bd. 96. S. 235.

1856.

6526. J. C. Maxwell. *On the unequal sensibility of the foramen centrale to light of different colours.* Athen. S. 1093. Edinb. Journ. (2.) IV. S. 337. Inst. S. 444. Rep. of Brit. Assoc. II. S. 12.

1857.

6527. F. W. Pieper. *De phantasmatibus nervi optici.* Halle.

1858.

6528. Power. Philos. Mag. (4.) XVI. S. 69.

1859.

6529. D. Brewster. Compt. Rend. XLVIII. S. 614. — Pogg. Ann. Bd. 107. S. 346.

6530. H. Müller. *Ueber die elliptischen Lichtstreifen von Purkinje.* Verhandl. der Würzburger phys.-med. Ges. IX. S. 30.

1860.

6531. J. Czermak. *Ueber die entoptische Wahrnehmung der Stäbchen- und Zapfenschicht.* Wien. Ber. XLI. S. 644—648.

1861.

6532. J. Czermak. *Zur objectiven Erklärung einiger sogenannten subjectiven Gesichtserscheinungen.* Wien. Ber. XLIII. (2.) S. 163—174.

6533. PURKINJE. *Bemerkungen über eine subjective Lichterscheinung.* Prag. Ber. S. 84.
6534. L. REUBEN. *On normal quasi-vision of the moving blood-corpuscles within the retina of the human eye.* Sill. Journ. (2.) XXXI. S. 325—338 u. 417.
6535. D. BREWSTER. *On certain affections of the retina.* Philos. Mag. (4.) XXI. S. 20 bis 24. Sillim. Journ. (2.) XXXI. S. 417.
6536. — *On the optical study of the retina.* Athenaeum. S. 412. Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 29.

1868.

6537. S. EXNER *Ueber einige neue subjective Gesichtserscheinungen.* Pflüger's Arch. I. S. 375—391. Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 594.
6538. R. HOUDIN. *Nouveau moyen d'eploration de la rétine par les phosphènes. — Images subjectives de la macula lutea et de la fovea centralis.* Mondes. (2.) XVI. S. 764—767. Compt. Rend. LXVI. S. 630—633.

1869.

6539. B. A. POPE. *Entoptische Erscheinungen im Zusammenhang mit dem Blutkreislauf.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. I. S. 72—78 u. 459.

1870.

6540. J. K. BECKER. *Zur Lehre von den subjectiven Farbenerscheinungen.* Pogg. Ann. Erg.-Bd. V. S. 305—319.

1873.

6541. LAMEY. *Eine subjective Gesichtserscheinung.* Mondes. XXXII. S. 442.
6542. D. RAGONA SCINA. *Su taluni fenomeni di colorazione soggettiva.* Cimento. (2.) X. S. 48. Mem. dell' Accad. d. Modena. XIV.

1877.

6543. A. RICCÒ. *Sopra un fenomeno soggetivo di visione.* Ann d'Ottalm. VI. S. 547.

1879.

6544. F. J. C. ACKROYD. *On a visual phenomenon and its explanation.* Nature. No. 515. Philos. Mag. (5.) XLVI. S. 334.
6545. A. EWALD. *Ueber die entoptische Wahrnehmung der Macula lutea und des Sehpurpurs.* Heidelb. physiol. Unt. II. 2. S. 241.
6546. HAAB. *Die Farbe der Macula lutea und die entoptische Wahrnehmung des Sehpurpurs.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XVII. October.

1881.

6547. A. CHARPENTIER. *Illumination violette de la rétine, sous l'influence des oscillations lumineuses.* Compt. Rend. XCII. No. 7. S. 355—357.
6548. C. EMERY. *La perceptione endottico del colore del fondo del occhio.* Ann. dell' Acad. dei Lincei. (3.) VI. S. 49—51.

1882.

6549. S. E. AYRES. *Der Blutlauf in der Gegend des gelben Flecks.* Arch. of Ophthalm. XI. S. 476. Arch. f. Augenheilkde. XIII. S. 29. (1883.)
6550. C. EMERY. *La perception entoptique de la couleur du fond de l'oeil.* Arch. ital. de biol. I. S. 225.
6551. G. MAYERHAUSEN. *Einiges über den Maxwell'schen Fleck.* Arch. f. Ophthalm. XXVIII. (2.) S. 283.

1883.

6552. E. BERTHOLD. *Ueber subjective Farbenempfindungen.* Schr. d. Königsb. Ges. XXIV. S. 33.
6553. G. MAYERHAUSEN. *Beitrag zur Kenntnifs der Photopsien in der Umgebung des Fixirpunktes.* Arch. f. Ophthalm. XXIX. (4.) S. 199.
6554. — *Ueber eine eigenthümliche Erscheinungsform des Eigenlichtes der Netzhaut nebst Bemerkung über die Gleichgewichtslage der Bulbi im wachen Zustande.* Arch. f. Augenheilkde. XIII. S. 77.
6555. RAMPOLDI. *Sopra due nuovi fenomeni subbiettivi della visione colorata.* Ann. di Ottalm. S. 545.

1884.

6556. A. KÖNIG. *Eine bisher noch nicht bekannte subjective Gesichtserscheinung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. (3.) S. 329—330. — Verhandl. der physikal. Gesellsch. zu Berlin. 27. Juni.
6557. G. MAYERHAUSEN. *Studien über die Chromatokinopsien.* Arch. f. Augenheilkde. XIV. S. 31. — Arch. of Ophthalm. S. 81.
6558. — *Nachtrag zu meinem Aufsatz: Ueber eine subjective Erscheinung bei Betrachtung von Contouren.* Graefe's Arch. XXX. (4.) S. 311.

6559. A. Riccò. *Fenomeno di colorazione soggettiva prodotto dalla luce palpebrale.* Ann. di Ottalm. XIII. S. 452.

1885.

6560. D. Goyder. *On a peculiar retinal light and its probable cause.* Med. Press. a. Circ. XXXVIII. S. 4.

6561. Ad. Olshausen. *Entoptische Untersuchung eines centralen Blendungs-Scotoms nebst einigen die Macula lutea betreffenden anatomischen und physiologischen Beobachtungen und Betrachtungen.* Diss. Halle.

1886.

6562. J. Colasanti und G. Mengarini. *Il fenomeno spectrale fisiologico.* Lincei Mem. (4.) III. S. 65—77.

6563. Cross. *Abnormal visual sensations.* Americ. Journ. of the med. sc. No. 184. S. 415.

6564. S. Exner. *Zwei subjective Erscheinungen im Gebiete des Gesichtssinnes.* Protok. d. Sitzg. d. chem.-phys. Ges. zu Wien vom 8. Dec. 1885.

6565. Rampoldi. *Sopra un fenomeno visivo suscitato dalla atropina; osservazioni e sperimenti.* Ann. univ. di med. e chir. CCLXXV. S. 113.

1887.

6566. C. Addario. *Su di una imagine endottica intraretinica.* Ann. di Ottalm. XVI. S. 476.

6567. A. Charpentier. *Quelques phénomènes entoptiques.* Arch. d'Ophthalm. VII. S. 209.

1888.

6568. C. Addario. *Sul significato anatomico di una immagine endottica a mosaico d'esagoni.* Ann. di Ottalm. XVII.

6569. J. Colasanti und G. Mengarini. *Das physiologische Spectralphänomen.* Moleschott's Unters. zur Naturl. XIII. 6. S. 451.

6570. R. Geigel. *Ueber Reflexion des Lichtes im Innern des Auges und einen neuen Versuch zur Erklärung der Haidinger'schen Polarisationsbüschel.* Wiedemann's Ann. XXXIV. S. 347—361. — Sitzgs.-Ber. d. Würzb. phys.-med. Ges.

1889.

6571. Rampoldi. *Sopra un fenomeno subiettivo della visione.* Ann. di Ottalm. XVIII. 6. S. 487.

1890.

6572. A. Charpentier. *Caloration entoptique du champ visuel en pourpre violet.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 6. Juni. S. 310.

6573. J. le Conte. *On a Curious Visual Phenomenon.* Americ. Journ. of Psychol. III. S. 364—366.

1892.

6574. E. Baquis. *Alcuni fenomeni subjettivi della visione.* Ann. di Ottalm. XXI. — Ann. d'ophthalm. XII. 5. S. 274.

6575. G. L. Johnson. *Bemerkungen über die Macula lutea.* Arch. f. Augenheilkde. XXV. S. 157—175.

1893.

6576. M. Kupfer. *Flimmerskotom und entoptische Erscheinungen.* Diss. Erlangen. 91 S.

1894.

6577. Tschiriew. *Eine neue entoptische Erscheinung.* Wjestnik Ophthalm. No. 6.

---

§ 26.

Von den Wahrnehmungen im Allgemeinen.

Hier ist nur die ältere Litteratur einigermafsen vollständig aufgeführt; hinsichtlich der neueren Litteratur mufs auf die Zusammenstellungen in den entsprechenden philosophischen Werken verwiesen werden. — Siehe auch die Litteratur von § 33.

1637.

6578. Cartesius. *Dioptrice.* Oeuvres publiées par V. Cousin. T. V.

1644.

6579. Cartesius. *Principia Philosophiae.* T. III.

1703.

6580. Leibnitz. *Nouveaux essais sur l'entendement humain.* Opera philos. ed. Erdmann. I. S. 194.

1709.

6581. Berkeley. *Theory of vision.* London.

1720.

6582. Locke. *Essai sur l'entendement humain.* Trad. de l'Anglais. Londres. L. II. et IV.
6583. Hume. *Untersuchungen über den menschlichen Verstand.*

1787.

6584. J. Kant. *Kritik der reinen Vernunft.* 2. Aufl. Riga.

1811.

6585. Steinbuch. *Beiträge zur Physiologie der Sinne.* Nürnberg.

1816.

6586. J. F. Herbart. *Lehrbuch zur Psychologie.* Seine Werke, herausgegeben von Hartenstein. Leipzig. 1850 V.

1825.

6587. Herbart. *Psychologie als Wissenschaft.* Sämmtliche Werke. VI.

1826.

6588. Joh. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig.

1849.

6589. Th. Waitz. *Lehrbuch der Psychologie als Naturwissenschaft.* Braunschweig.

1852.

6590. H. Lotze. *Medicinische Psychologie.* Leipzig.

1856.

6591. H. Lotze. *Mikrokosmus.* Leipzig.

1858.

6592. Kosack. *Auslegung der Gesichtsempfindungen gegenüber dem modernen Sensualismus.* Nordhausen.

1861.

6593. C. S. Cornelius. *Die Theorie des Sehens und räumlichen Vorstellens.* Halle.
6594. M. J. Schleiden. *Zur Theorie des Erkennens durch den Gesichtssinn.* Leipzig.
6595. A. Nagel. *Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen.* Leipzig und Heidelberg.

1861—64.

6596. E. Hering. *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig.

1862.

6597. W. Wundt. *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Leipzig und Heidelberg. Abgedruckt aus der Zeitschr. f. rat. Med. 1858—1862.

1863.

6598. A. Classen. *Das Schlufsverfahren des Sehactes.* Rostock.
6599. E. Hering. *Ueber Dr. A. Classen's Beitrag zur physiologischen Optik.* Arch. f. pathol. Anat. u. Physiol. VIII. 2. S. 179.

1864.

6600. C. S. Cornelius. *Zur Theorie des Sehens.* Halle.

6601. J. Dastich. *Ueber die neueren physiologisch-psychologischen Forschungen im Gebiete der menschlichen Sinne.* Prag.

1866.

6602. H. Ulrici. *Gott und der Mensch. I.: Leib und Seele, Grundzüge einer Psychologie des Menschen.* Leipzig.

1868.

6603. E. Leydfn. *Ueber die Sinneswahrnehmungen.* Berlin.

1871.

6604. A. Verstraete. *Note sur la question de savoir de quelle manière nous acquérons par la vue la connaissance des corps.* Bull. de Brux. XXXII. (2.) S. 155.

1872.

6605. Zöllner. *Die Theorie der unbewufsten Schlüsse in ihrer Anwendung auf die Gesichtswahrnehmungen.* S. 378 seines Werkes: Ueber die Natur der Kometen. Leipzig.

1873.

6606. C. Stumpf. *Ueber den physiologischen Ursprung der Raumvorstellung.* Leipzig. 324 S.

1876.

6607. O. Liebmann. *Zur Analysis der Wirklichkeit.* Daraus: Zur Theorie des Sehens. S. 128—169. Strafsburg, Trübner.

1877.

6608. S. Stricker. *Untersuchungen über das Ortsbewufstsein und dessen Beziehungen zu der Raumvorstellung.* Wien. Sitzgs.-Ber. LXXVI. (3. Abth.)

1878.

6609. Dönhoff. *Ueber angeborene Vorstellungen bei den Thieren.* Arch. f. (Anat. u.) Physiol. S. 387.

6610. H. Helmholtz. *Die Thatsachen in der Wahrnehmung.* Berlin, Univers. Programm.

6611. S. Stricker. *Untersuchungen über das Ortsbewufstsein und dessen Beziehungen zur Raumvorstellung.* Wien. Sitzgs.-Ber. LXXVI. (3.) Nov.-Heft.

1879.

6612. H. Helmholtz. *Die Thatsachen in der Wahrnehmung.* Berlin, Hirschwald. 68 S.

6613. E. Jaesche. *Das räumliche Sehen.* Stuttgart, Enke. 130 S.

6614. P. R. Schuster. *Giebt es unbewufste und vererbte Vorstellungen?* Herausgegeb. von Zöllner. Leipzig. 83 S.

1880.

6615. Bibart. *Une expérience d'optique physiologique.* Journ. de phys. IX. S. 199—200.

6616. Dufour. *Sur l'expériencc des sens.* Bull. de la soc. méd. de la Suisse Romande.

1881.

6617. F. Celler. *Ueber Gesichtswahrnehmungen.* Presb. Verhandl. 1875—1880. S. 21—60.

1882.

6618. E. v. Fleischl. *Localzeichen und Organgefühle.* Med. Jahrb. S. 91.

6619. — *Physiologisch-optische Notizen.* 1. Mittheilung. Sitzgs.-Ber. d. k. Acad. d. Wiss. LXXXIII. 3. Abth. (Sitzg. v. 17. März 1881.)

6620. A. Genzmer. *Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen der neugeborenen Menschen.* Halle. 28 S.

1883.

6621. L. Borthen. *Einige Bemerkungen über Wahrnehmung und Vorstellung.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 451.

1884.

6622. Th. Loewy. *Die Gemein-Ideen des Gesichts- und Tastsinnes.* Leipzig 1884. — Philos. Mag. (5.) XVII. S. 403—406.

1886.

6623. H. de Varigny. *Le développement des sens, chez l'enfant, d'après M. Preyer.* Rev. Scientif. XXXVIII. S. 401.

1887.

6624. J. Jastrow. *Die Wahrnehmung des Raumes durch verschiedene Sinne.* John's Hopk. Univ. Circul. VI. S. 53.

1888.

6625. Ch. Dunan. *L'espace visuel et l'espace tactile.* Rev. Philos. XIII. 2. S. 134.

6626. E. Rehfisch. *Sinneswahrnehmung und Sinnestäuschung.* Berlin, Fried & Co.

6627. G. K. Uphues. *Wahrnehmung und Empfindung.* Leipzig, Duncker & Humblot. 289 S.

1889.

6628. D. Axenfeld. *Intorno all' origine della nozione di spazio.* Riv. di Filos. scientif. VIII. S. 349.
6629. J. Loeb. *Untersuchungen über die Orientirung im Fühlraum der Hand und im Blickraum.* Pflüger's Arch. XLIV. S. 1.

1890.

6630. H. Spencer. *Our Space-Conciousness: A Reply.* Mind. XV. S. 305—324.

1891.

6631. E. L. Fischer. *Theorie der Gesichtswahrnehmung.* Mainz, Kirchheim. 392 S.
6632. C. Reymond. *Le arti figurative ed un vecchio pregiudizio fisiologico sulla visione.* Torino, Paravia & Co.
6633. Rudzki. *Ueber ein angeborenes Gefühl der Kardinalrichtungen des Horizonts.* Biol. Centralbl. XI. No. 2. S. 63.

1892.

6634. A. Farges. *La critique de Kant sur l'espace et le temps.* Ann. de Philos. Chrét. (N. S.) XXVI. S. 456—475.
6635. G. Hirth. *Das plastische Sehen als Rindenzwang.* München, G. Hirth's Verlag. 80 S. mit 50 Textill. u. 34 Tafeln mit stereoskop. Abbildungen.
6636. C. Stumpf. *Zum Begriff der Localzeichen.* Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 70—73.

1894.

6637. H. v. Helmholtz. *Ueber den Ursprung der richtigen Deutung unserer Sinneseindrücke.* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 81—96.
6638. E. Milhaud. *La projection externe des images visuelles.* Rev. Philos. XXXVIII. 8. S. 210—222.

---

§ 27.

Die Augenbewegungen.

1823.

6639. Bell. *On the motions of the eye.* Philos. Transact.

1826.

6640. Joh. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig. S. 254.

1836.

6641. A. W. Volkmann. *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* S. 33.

1838.

6642. Hueck. *Die Axendrehung des Auges.* Dorpat.

1840.

6643. Szokalski. *De l'influence des muscles obliques de l'oeil sur la vision et de leur paralysie.* Ann. et Bull. de la Soc. de méd. de Gand. Sept.
6644. Tourtual. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol., im Jahresbericht S. XXIX; LV; LIX.

1842.

6645. A. Burow. *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* Berlin.
6646. Valentin. *Repertorium.* S. 407.
6647. C. F. Krause. *Handbuch der menschlichen Anatomie.* S. 550.

1843.

6648. A. W. Volkmann. *Revision einiger in meinen Beiträgen zur Physiologie des Gesichtssinnes aufgestellten Lehrsätze.* Müller's Arch. S. 1.
6649. Szokalsky. Compt. Rend.

1844.

6650. Valentin. *Lehrbuch der Physiologie des Menschen* II. S. 332.

1846.

6651. Tourtual. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 346.
6652. Th. Ruete. *Lehrbuch der Ophthalmologie.* S. 14.

6653. Th. Ruete. *Das Ophthalmotrop.* S. 9. Göttingen.
6654. F. C. Donders. Nederl. Lancet. August.
6655. A. W. Volkmann. Artikel: *Sehen* in Wagner's Handwörterb. d. Physiol. III. S. 337 bis 358. S. 281—290.

1847.

656. F. C. Donders. *Beitrag zur Lehre von den Bewegungen des menschlichen Auges.* Holländ. Beitr. z. d. anat. und physiol. Wiss. I, S. 104—145; 384—386.

1848.

657. F. C. Donders. *Noch etwas über Hueck's vermeintliche Axendrehung des Auges.* Holl. Beiträge. I. S. 384.

1854.

658. G. Meissner. *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans.* Leipzig.
659. Czermak. *Ueber Abhängigkeit der Accommodation und Convergenz.* Wien. Ber. XII. S. 337—358; XV. S. 438—454.
660. A. Fick. *Die Bewegungen des menschlichen Augapfels.* Zeitschr. f. rat. Med. IV. S. 801.

1855.

661. G. Meissner. *Zur Lehre von den Bewegungen des Auges.* Arch. f. Ophthalm. II. (1.) S. 1—123.

1856.

662. G. Meissner. *Jahresbericht über die Fortschritte der Physiologie.* Zeitschr. f. ration. Med. 1856 und die folgenden Jahrgänge.

1857.

663. Th. Ruete. *Ein neues Ophthalmotrop.* Leipzig.

1858.

664. A. Fick. *Neue Versuche über die Augenstellungen.* Moleschott's Unters. z. Naturlehre d. Menschen. V. S. 193.

1859.

65. G. Meissner. *Ueber die Bewegungen des Auges, nach neuen Versuchen.* Zeitschr. f. rat. Med. (3.) VIII. S. 1.
66. F. v. Recklinghausen. *Netzhautfunctionen.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 127.
67. W. Wundt. *Ueber die Bewegungen des Auges.* Verhandl. d. nat.-med. Ver. zu Heidelberg.

1860.

68. H. Aubert. *Eine scheinbare bedeutende Drehung von Objecten bei Neigung des Kopfes nach rechts oder links.* Virchow's Arch. XX. S. 381.

1862.

69. W. Wundt. *Ueber die Bewegungen der Augen.* Arch. f. Ophthalm. VIII. (2.) S. 1—87.
0. — *Beschreibung eines künstlichen Augenmuskelsystems zur Untersuchung der Bewegungsgesetze des menschlichen Auges im gesunden und kranken Zustande.* Arch. f. Ophthalm. VIII. (2.) S. 88—114.
1. F. C. Donders und D. Dojer. *Die Lage des Drehpunktes des Auges.* Arch. f. d. Holländ. Beitr. III. S. 560. — Derde Versl. Gast. v. Oogl. S. 209.

1863.

2. H. Helmholtz. *Ueber die Bewegungen des menschlichen Auges.* Verhandl. d. Naturhist. med. Ver. zu Heidelberg. Bd. III. S. 62—67.
3. — *Ueber die normalen Bewegungen des menschlichen Auges.* Arch. f. Ophthalm. IX. (2.) S. 153—214.
4. E. Hering. *Beiträge zur Physiologie.* 3. u. 4. Heft. Leipzig. (Kritisches gegen Meissner u. Helmholtz.)
5. J. B. Schuurman. *Vergelijkend Onderzoek der Beweging van het Oog bij Emmetropie en Ametropie.* Dissert. Utrecht. — Vijde Versl. Gast. v. Oogl. 1864. S. 1.

1864.

6. H. Helmholtz. *On the normal motions of the human eye in relation to binocular vision.* Proc. of London Roy. Soc. Vol. XIII. S. 186—199.
7. Giraud-Teulon. Compt. Rend. LVIII. S. 361 (über Drehpunkt).
8. E. Hering. *Die sog. Raddrehung des Auges in ihrer Bedeutung für das Sehen bei ruhendem Blick.* Reichert's und du Bois' Arch. S. 278.

1865.

6679. E. Berthold. *Ueber die Bewegungen des kurzsichtigen Auges.* Arch. f. Ophthalm XI. 3. S. 107.
6680. J. Dastich. *Ueber die neueren physiologisch-psychologischen Forschungen im Gebiet der menschlichen Sinne.* Abh. d. Böhm. Ges. (5.) XIII. S. 48—64.
6681. H. Helmholtz. *Ueber den Einfluſs der Raddrehung der Augen auf die Projectio der Retinalbilder nach auſsen.* Verh. d. naturhist. Ver. in Heidelberg. III. S. 17 bis 171. Heidelb. Jahrb. d. Litt. No. 16. S. 244—245.
6682. — *Ueber die Augenbewegungen.* Verh. d. naturhist. Ver. in Heidelberg. — Heidelb Jahrb. d. Litt. No. 16. S. 255—256. No. 17. S. 257—259.

1866.

6683. Böttcher. *Ueber Augenbewegungen und binoculare Perspective.* Arch. f. Ophthalm XII. 2. S. 22-99.
6684. Schljachtin. *Ueber die Bewegungen des Augapfels.* (Russisch.) Inaug.-Diss. Moskau

1867.

6685. A. Burow sen. *Das Gesetz der Axenstellung bei einseitiger Bewaffnung des Auges* Arch. f. Ophthalm. XIII. 2. S. 327.
6686. J. Hock. *Ueber ein Mittel, die bei der Bewegung der Augen eintretenden Meridian neigungen direct zu beobachten.* Wien. med. Wochenschr. XVII. S. 101.

1868.

6687. E. Hering. *Die Lehre vom binocularen Sehen.* I. Leipzig.
6688. J. J. Müller. *Untersuchungen über den Drehpunkt des menschlichen Auges.* Inaug. Diss. Zürich. — Arch. f. Ophthalm. XIV. (3.) S. 183.
6689. A. Nagel. *Ueber das Vorkommen von wahren Rollungen des Auges um die Ge sichtslinie.* Arch. für Ophthalm. XIV. (2.) S. 228.

1869.

6690. F. Arlt jun. *Tijdsbepalingen ten aanzien der bewegingen van den oogappel. (Iris* Onderzoekingen in het Phys. Lab. te Utrecht. 2. R. II. S. 402. — Tiende Vers Ned. Gasth. v. Oogl. S. 116. — Ned. Arch. IV. S. 481.
6691. E. Hering. *Ueber die Rollung des Auges um die Gesichtslinie.* Arch. für Ophthaln XV. (1.) S. 1—16.
6692. A. W. Volkmann. *Zur Mechanik der Augenmuskeln.* Ber. d. kgl. sächs. Ges. d Wiss. XXI. S. 28—69.

1870.

6693. E. Adamück. *Over de innervatie der oogbewegingen.* Onderzoekingen in het. Phy Lab. te Utrecht. 2. R. III. S. 140. — Versl. Ned. Gasth. v. Oogl. No. 11. S. 7 — Ned. Arch. V. S. 256.
6694. — *Zur Physiologie des N. oculomotorius.* Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 177—18
6695. Aub. *Finden Raddrehungen der Augen bei Seitwärtsneigungen des Kopfes statt* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. I. S. 232.
6696. G. F. W. Baehr. *Over de beweging van het oog.* K. Akad. van Wetensch. t Amsterdam. 29 April. Versl. en Med. afd. Natuurk. 2. Reeks. V. S. 273.
6697. — *Note sur les résultats d'une étude mathématique des mouvements de l'oeil.* Arc Néerl. des Sc. math. et nat. V. S. 233—235. — Mondes. XXVI. S. 730.
6698. F. C. Donders. *Die Bewegungen des Auges, veranschaulicht durch das Phänophtha motrop.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 154.
6699. — *De beweging van het oog, toegelicht met het phaenophthalmotrop.* Onderzoekinge in het Phys. Lab. d. Utrechtsche Hoogesch. Tweede R. III. S. 119. — Ned. Arc V. S. 222. — Versl. Ned. Gasth. Oogl. No. 11. S. 54.
6700. — *Over angeboren en verkregen associatie.* Als naschrift tot het onderzoek va Dr. Adamük. Nederl. Arch. v. Genees- en Naturk. S. 247—256. Bijbladen 1 Versl. v. h. Ned. Gasth. v. oogl S. 80—89.
6701. Giraud-Teulon. *De la loi de rotation du globe oculaire dans les mouvements associ des yeux.* Acad. des Sciences. 25 avril. — Compt. Rend. Vol. 70. S. 945. — Jour de l'anat. et physiol. Juillet. — Gaz. hebd. S. 291.
6702. L. Kugel. *Ueber die Bewegungen des hypermetropischen Auges.* Graefe's Arch. Ophthalm. XVI. 1. S. 311—352.
6703. A. Skrebitzky. *Bijdrage tot de leer der bewegingen van het oog.* Onderzoekinge in het Phys. Lab. te Utrecht. Tweede R. III. S. 424. — Nederl. Arch. v. Genee en Natuurk. V. S. 476. — Versl. Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 11. S. 80.

6704. M. Woinow. *Ueber die Raddrehungen des menschlichen Auges.* (Russisch.) Sitzgs.-Ber. d. phys.-med. Ges. in Moskau. XII.

6705. — *Ueber den Drehpunkt des Auges.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 243.

1871.

6706. G. F. W. Baehr. *Sur le mouvement de l'oeil.* Arch. néerl. VI. S. 127—161.

6707. E. Berlin. *Beitrag zur Mechanik der Augenbewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (2.) S. 154. — Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 545. (Vorl. Mitth.)

6708. E. Hitzig. *Ueber die beim Galvanisiren des Kopfes entstehenden Störungen der Muskelinnervation und der Vorstellungen vom Verhalten im Raume.* Reichert u. du Bois-Reymond's Arch. S. 716—770.

6709. — *Weitere Untersuchungen zur Physiologie des Gehirns.* Reichert u. du Bois-Reymond's Arch. S. 771—772. — Berl. klin. Wochenschr. 1872. S. 504.

6710. J. Mannhardt. *Ueber das Convergenzvermögen, dessen Leistungen, Bedingungen und Wirkungen.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 429—437.

6711. J. J. Müller. *Ueber den Einfluſs der Raddrehung der Augen auf die Wahrnehmung der Tiefendimension.* Ber. d. sächs. Gesellsch. d. Wiss. 6. Mai 1871. S. 125—134.

6712. A. Nagel. *Ueber das Vorkommen von wahren Rollungen des Auges um die Gesichtslinie.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (1.) S. 237.

6713. Savary. *De l'esprit d'observation dans les sciences médicales appliqué à l'étude de la physiologie des muscles de l'oeil et des paralysies musculaires.* Thése de Paris.

714. A. Skrebitzky. *Ein Beitrag zur Lehre von den Augenbewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XVII. 1. S. 107.

715. M. Woinow. *Beiträge zur Lehre von den Augenbewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XVII. 2. S. 233.

716. — *Ueber die Raddrehung des Auges.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 387—391.

1872.

717. W. Dobrowolsky. *Ueber Rollung der Augen bei Convergenz und Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 53—66.

718. F. C. Donders. *Ueber angeborene und erworbene Association.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. 2. S. 153—164.

719. Fano. *Note sur les fonctions du muscle grand oblique de l'oeil.* Union médicale, 31 août. Journ. d'Opht. S. 528.

720. v. Hasner. *Die Applicationsgesetze der monocularen Bewegung.* Prager Vierteljahrsschr. Bd. IV. S. 114—128.

721. Kostareff. *De la rotation de l'oeil sur l'axe optique.* Inaug.-Diss. Moscou.

722. Le Conte. *Rotation of the eye on the optic axis.* Americ. Journ. of sc. and arts. II. Ser. Vol. 47. S. 153—168.

723. J. Samelsohn. *Zur Frage von der Innervation der Augenbewegungen.* Arch. für Ophthalm. XVIII. (2.) S. 142—152.

1873.

24. A. Chodin. *Zur Lehre vom Drehpunkte in Augen verschiedener Refraction.* (Russisch.) Diss. Petersburg.

25. F. C. Donders. *Versuch einer genetischen Erklärung der Augenbewegungen.* Pflüger's Arch. VIII. S. 373.

26. — *De primaire standen van het oog: a) vor evenwijdige, b) vor convergente blicklijnen.* Onderzoekingen ged. in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. Derde R. II. S. 380. — Nederl. Gasthuis v. oogl. S. 8—13.

27. A. Genzmer. *Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen des neugeborenen Menschen.* Inaug.-Diss. Halle.

28. J. v. Hasner. *Ueber den Seitenblickwinkel.* Wien. med. Wochenschr. No. 21.

29. — *Beiträge zur Physiologie und Pathologie des Auges etc. Die Applicationsgesetze der monocularen Bewegung, Theorie der parallelen Blicklinien.* S. 15—39.

30. L. Hermann. *Ein Apparat zur Demonstration der aus dem Listingschen Gesetz folgenden scheinbaren Raddrehungen.* Pflüger's Arch. VIII. S. 305—306.

31. E. Hitzig. *Zur Physiologie des Gehirns.* Berliner med. psych. Ges. 7. Juli 1873. Berl. Klin. Wochenschr. No. 52. S. 621.

32. M. Woinow. *Augenbewegungen.* (Russisch.) St. Petersburg.

1874.

3. J. Breuer. *Ueber die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinths.* Med. Jahrbücher der Wiener Aerzte. S. 72—124.

6734. S. Exner. *Menière'sche Krankheit bei Kaninchen. Ein Versuch über Trochlearis-Kreuzung.* Sitz.-Ber. d. Wien. Akad. Math.-naturwiss. Cl. 70. III. Abth. S. 153.
6735. Mulder. *Over parallele Rolbewegingen der oogen.* Onderzoekingen ged. in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. Derde R. III. 1. S. 118.
6736. W. Schön. *Zur Raddrehung.* I. Mittheilung. Arch. f. Ophthalm. XX. (2.) S. 171 u. 308.
6737. C. Stark. *Ein Beitrag zur Lehre von den motorischen Innervationsherden in der Rinde der vorderen Centralwindung des Menschen.* Berl. klin. Wochenschr. S. 401.
6738. J. L. Tupper. *On the centre of motion in the human eye.* Proc. of the Roy. Inst. of London. XXII. S. 429.

1875.

6739. F. C. Donders. *Naschrift over de wet der ligging van het netvlies in betrekking tot die van het blikvlak.* Onderzoekingen ged. in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. 3. R. III. S. 185—189. — XVII. Versl. van het Nederl. Gasth. v. Oogl. S. 68—72.
6740. — *Ueber das Gesetz von der Lage der Netzhaut in Beziehung zu der Blickebene.* Arch. f. Ophthalm. XXI. (1.) S. 125.
6741. — *Die correspondirenden Netzhautmeridiane und die symmetrischen Rollbewegungen.* Graefe's Arch. XXI. (3.) S. 100—132. — Onderz. etc. 3. Reihe. III. (2.) S. 45—78.
6742. Giraud-Teulon. *Ueber das Gesetz der Rotation bei combinirten Bewegungen des Auges.* Ann. d'Oculist. LXXIV. S. 113.
6743. A. Graefe. *Motilitätsstörungen des Auges.* Graefe-Sämisch, Handbuch der ges. Augenheilkde. Bd. VI, Cap. 9. Leipzig.
6744. Mulder. *Ueber parallele Rollbewegungen der Augen.* Arch. f. Ophthalm. XXI. (1.) S. 68.
6745. P. L. Panum. *Bestemmelsen af Afstanden i mellen bägge öjnes Omdrejningspunkten.* Nord. med. Ark. VII. No. 9.
6746. Ritzmann. *Ueber die Verwendung von Kopfbewegungen bei den gewöhnlichen Blickbewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XXI. (1.) S. 131.
6747. W. Schön. *Zur Raddrehung.* II. Mittheil. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXI. 2. S. 205—212.
6748. — *Apparat zur Demonstration des Listing-Donders'schen Gesetzes.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XIII. S. 430—435.
6749. Weiss. *Zur Bestimmung des Drehpunktes im Auge.* Arch. f. Ophthalm. XXI. (2.) S. 132—186.

1876.

6750. E. v. Cyon. *Rapports physiologiques entre le nerf acoustique et l'appareil moteur de l'oeil.* Acad. des Sciences. 10. Avril. — Recueil d'Ophth. S. 175. — Ann. d'Ocul. T. 75. S. 171.
6751. F. C. Donders. *Korte Beschrijving van eenige Werktuigen en Toestellen tot de Collectie van het Physiologisch Laboratorium en het Nederlansch Gasthuis voor Ooglijders behoorende.* Onderzoekingen in het Physiolog. Laborat. te Utrecht. Derde Reeks. IV, 1. S. 1—30.
6752. — *Versuch einer genetischen Erklärung der Augenbewegungen.* Pflüger's Arch. Bd. XIII. S. 373—421. — Utrecht'sche Onderzoekingen. Derde R. D. IV. 1. S. 31 bis 94. XVII. — Versl. van het Nederl. Gasth. etc. S. 73—136. — Ann. d. Oculist. LXXV. S. 213—237.
6753. E. L. Holmes. *Ueber die Stellung der Augäpfel bei geschlossenen Lidern.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. V. S. 374—475.
6754. E. Landolt. *Tableau synoptique des mouvements des yeux.* Delahaye, Paris.
6755. L. Mauthner. *Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges.* S. 634—648.
6756. M. E. Mulder. *Over parallele rollbewegingen der oogen.* Zeventiende Versl. van het Nederl. Gasth. etc. S. 1—67.
6757. W. Nicati. *Ueber das Tropometer (Instrument zur Messung der Augenbewegungen).* Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte. VI. No. 15. S. 458.
6758. Prengrüber. *Physiologie des muscles de l'oeil et leurs paralysies.* Thèse de Paris.
6759. Schiaparelli. *Di alcune questioni concernenti il movimento degli occhi.* Ann. di Ottalm. V. S. 243—262.
6760. E. Ritzmann. *Ueber die Verwendung von Kopfbewegungen bei den gewöhnlichen Blickbewegungen.* Onderzoekingen, Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. Derde R. IV. S. 95—113.

1877.

6761. F. C. Donders. *Essai d'une explication génétique des mouvements oculaires.* (Suite.) Annal. d'Oculist. T. 77. S. 5 u. 97.

6762. Féréol. *Association synergique des deux yeux, persistant malgré la paralysie de la sixième paire d'un côté.* Gaz. des hôp. No. 90. 93. 98.

6763. A. Graefe. *Ophthalmotrop.* Amtl. Ber. d. 50. Vers. d. Naturf. u. Aerzte zu München. S. 332.

6764. Laborde. *L'influence du bulbe rachidien sur les mouvements associés des yeux.* Gaz. méd. de Paris. No. 3 u. 5.

6765. Laborde, Duval u. Graux. *Sur quelques points de la physiologie du bulbe rachidien.* Gaz. des hôp. S. 142.

6766. Mercier. *Independant movements of the eyes under chloroform.* Brit. med. Journ. No. 845.

6967. W. Nicati. *Méthode pour mesurer le champ du regard: Le Tropopérimètre.* Gaz. Méd. de Paris. S. 324. — Gaz. d. Hôpit. S. 556.

6768. E. Rählmann u. L. Witkowsky. *Ueber atypische Augenbewegungen.* du Bois-Reymond's Arch. S. 454.

6769. Warner. *Loss of associated movements of the eyes under chloroform and in disease.* Brit. med. Journ. No. 845.

6770. W. v. Zehender. *Methode, die Distanz der Augendrehpunkte mit Hülfe der sogenannten Tapetenbilder zu bestimmen.* Amtl. Ber. d. 50. Vers. d. Naturf. u. Aerzte zu München. S. 332.

1878.

6771. M. Duval. *Zusatz zu der Abhandlung von Laborde: Influence du bulbe etc.* Gaz. méd. de Paris. S. 632.

6772. Laborde. *Influence du bulbe sur les mouvements associés des yeux.* Gaz. méd. de Paris. S. 28.

6773. Sander. *Ueber die Beziehungen der Augen zum wachenden und schlafenden Zustand des Gehirns und über ihre Veränderungen bei Krankheiten.* Arch. f. Psych. IX. S. 129.

6774. Schwahn. *Ueber das Schielen nach Verletzungen in der Umgebung des kleinen Gehirns.* Eckhardt, Beiträge zur Anat. u. Physiol. VIII. (3.) S. 149.

6775. Siemens. *Zur Lehre vom epileptischen Schlafe und vom Schlafe überhaupt.* Arch. f. Psych. IX. (3.) S. 72.

1879.

6776. H. Biesinger. *Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Accommodation und Convergenz der Blicklinien.* Inaug.-Diss. Tübingen. Abgedruckt in Nagel's Mittheil. aus der ophthalmiatr. Klinik in Tübingen. Heft 1. S. 58.

6777. Duval. *Sur l'innervation des mouvements conjugués des yeux.* Gaz. méd. de Paris. S. 389.

6778. — *Der wahre Ursprung der motorischen Nerven des Auges.* Gaz. hebd. No. 27.

6779. Cl. Gallopain. *Le Pli Courbe n'est ni le siège de la perception des impressions visuelles ni le centre des mouvements des yeux.* Ann. méd.-psychol. (6.) II. 2. S. 177—188.

6780. E. Hering. *Ueber Muskelgeräusche des Auges.* Wien. Akad. Ber. 79. III. Abth.

6781. — *Physiologie des Gesichtssinnes. Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges.* Hermann's Handbuch der Physiol. III. (1.) S. 343.

6782. A. Nagel. *Zusätzliche Bemerkungen zu der Arbeit von Dr. Biesinger.* Nagel's Mittheil. aus der ophthalmiatr. Klin. in Tübingen. Heft 1. S. 108.

6783. L. Witkowski. *Ueber einige Bewegungserscheinungen am Auge.* Arch. f. Psychiatr. IX. S. 443.

1880.

6784. Abadie. *Note sur l'appui de l'hypothèse de M. Landouzy sur l'existence d'un contre-rotateur des yeux.* Prog. méd. No. 4.

6785. Duval u. Laborde. *De l'innervation des mouvements associés des globes oculaires.* Journ. d'anat. et de physiol. XVI. S. 65.

6786. Giraud-Teulon. *Analyse critique de „l'essai d'une explication génétique des mouvements oculaires" du professeur Donders".* Arch. d'ophthalm. Sept.-Oct. — Prog. méd. No. 38. — Gaz. méd. No. 38.

6787. Le Conte. *On some phenomena of binocular vision.* Sillim. Journ. (3.) XX. S. 83.

1881.

6788. W. Browning. *Ein binoculares Ophthalmotrop.* Arch. f. Augenheilkde. XI. S. 69—74.

6789. Fano. *Sur les fonctions du muscle petit oblique de l'oeil chez l'homme.* Compt. Rend. Bd 92. S. 44. — Gaz. méd. de Paris. No. 3. S. 30.

6790. E. Landolt. *Etude sur les mouvements des yeux.* Arch. d'ophthalm. Nov.-Dec.

6791. — *Des mouvements des yeux à l'état normal et à l'état pathologique.* Transact. of the intern. med. Congr. VII. session. London. III. S. 25. Arch. d'ophthalm. I. S. 586.

1882.

6792. W. Bechterew. *Thierversuche über vorzugsweise Rollbewegungen um die Längsaxe.* Petersb. med. Wochenschr. No. 6.

6793. Bjelow. *Contributions à l'étude des conditions de l'équilibre dynamique des droits ext. et inf. des yeux à réfraction différente.* Diss. Petersburg.

6794. W. Le Conte Stevens. *Notes on physiological optics. III. Theory of Associated Muscular Action. — A new mode of Stereoscopy.* Sill. Journ. XXIII. S. 290—302. *IV.* Sill Journ. XXIII. S. 346—360.

1883.

6795. G. Mayerhausen. *Ueber eine eigenthümliche Erscheinungsform des Eigenlichtes der Netzhaut, nebst Bemerkung über die Gleichgewichtslage der Bulbi im wachen Zustande.* Arch. f. Augenheilkde. XIII. S. 77.

1884.

6796. Bjelow. *Ueber die Bestimmung des dynamischen Gleichgewichts der Augenmuskeln.* Wjestnik Ophthalm. No. 4 u. 5.

6797. Reymond. *Modificazione all' esame degli equilibrii muscolari e leggi del rapporto tra l'accommodatione e la convergenza oculare.* Ann. di Ottalm. XIII. (2.) S. 136. — Giorn. d. r. Ac. di med. di Torino. XII. S. 69.

6798. W. v. Zehender. *Ein Vierspiegelapparat zur Bestimmung des Convergenzwinkels der Gesichtslinien.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 231.

1885.

6799. Debenedetti. *Determinazione del centro del movimento del globo oculare.* Atti della R. Ac. di med. di Torino.

6800. E. Jaesche. *Einige Bemerkungen über die Ruhelage der Augen.* Arch. f. Augenheilkde. XV. S. 302.

6801. E. Landolt. *Ophthalmodynamometer.* Ber. über die 17. Vers. der ophth. Ges. in Heidelberg. S. 243.

6802. L. Mauthner. *Die Nuclearlähmung der Augenmuskeln.* Wiesbaden, Bergmann. Vorträge a. d. Gesammtgebiet d. Augenheilkde. 12. Heft.

6803. G. Sous. *Instrument du Dr. W. Zehender pour déterminer l'angle de convergence des axes visuels.* Rev. clin. d'Ocul. V. S. 94.

1886.

6804. Frost. *Model of movements of eyes.* Ophthalm. Rev. S. 86.

6805. Ph. Knoll. *Ueber die Augenbewegungen bei Reizung einzelner Theile des Gehirns.* Sitzgs.-Ber. d. k. Acad. d. Wiss. zu Wien. Bd. 94. S. 3. — Wien. Gerolds Söhne 1887.

6806. L. Mauthner. *Die nicht nuclearen Lähmungen.* Vorträge a. d. Gesammtgebiet d. Augenheilkde. 13. Heft.

6807. G. Secondi. *Osservazioni sul rapporto tra l'accomodazione e la convergenza.* Giorn. d. r. Accad. di med. di Torino. XXXIV. S. 714.

1887.

6808. D. Below. *Ueber statisches und dynamisches Gleichgewicht der Augen.* Westnik Ophthalm. IV. (3. u. 4.) S. 201 u. 309.

6809. E. Landolt. *Uebersichtliche Zusammenstellung der Augenbewegungen im physiologischen und pathologischen Zustande.* Deutsch bearb. von H. Magnus. Breslau.

6810. J. Nussbaum. *Ueber die wechselseitigen Beziehungen zwischen den centralen Ursprungsgebieten der Augenmuskelnerven.* Med. Jahrb. Heft 7. S. 407.

6811. M. Tscherning. *La loi de Listing.* Thèse de Paris. 42 S.

6812. H. Westien. *Augenbewegungsmodell nach Prof. Aubert.* Zeitschr. f. Instrumentenkde. VII. S. 53.

1888.

5813. A. Charpentier. *Influence inhibitoire de l'excitation de la rétine sur la contraction des muscles de l'oeil.* Compt. rend. de la société de biologie. V. No, 26. S. 596.

5814. — *Influences diverses sur la contraction des muscles de l'oeil.* Compt. rend. de la société de biologie V. No. 27. S. 621.

5815. A. Graefe. *Die Thätigkeit der geraden inneren Augenmuskeln bei den associirten Seiten- und den accommodativen Konvergenzbewegungen der Augen.* Ber. des VII. internat. Ophthalmologen-Congresses zu Heidelberg. S. 30.

5816. F. D. A. C. van Moll. *Over afwezigheid van rollbeweging bij zijdelingsche blick richting.* Feestbundel, Donder's Jubiléum. S. 1.

5817. G. C. Savage. *The harmonious non-symmetrical action of the oblique musclss explains binocular astigmatism.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 245.

5818. M. Tscherning. *Quelques conséquences de la loi de Listing.* Ann. d'Oculist. Bd. 100. S. 101.

1889.

5819. Benzler. *Ein Fall von essentieller Convergenzlähmung.* Deutsche militärärztliche Zeitschr. No. 7. S. 301.

5820. J. B. Lawford. *Congenital hereditary defect of ocular movements.* Transact. of the ophthalm. soc. VIII. S. 262.

5821. Marlow. *The position of rest as a cause of strabismus.* Ophthalm. Rev. S. 362.

5822. G. Secondi. *Valori di A e di A_2 nei vari gradi del campo di sguardo quando ricercati nel piano orrizontale.* Ann. di Ottalm. XVIII. S. 117.

5823. L. Winternitz. *Ein Diagramm als Beitrag zur Orientirung über die Wirkungsweise der Augenmuskeln und die Ausfallserscheinungen bei Lähmung derselben.* Wien. klin. Wochenschr. No. 11.

1890.

5824. M. Knies. *Ueber die centralen Störungen der willkürlichen Augenmuskeln.* Arch. f. Augenhlkde. XXXII. S. 19—51.

5825. Mott. *Augenbewegungen.* Brit. Med. Journ. No. 1538. Oesterr.-Ung. Centralbl. f. med. Wiss. No. 19. S. 344.

5826. H. Munk. *Sehsphäre und Augenbewegungen.* Sitzgs.-Ber. d. Akad. d. Wiss. in Berlin. III. S. 53—74.

5827. Obregia. *Ueber Augenbewegungen auf Sehsphärenreizung.* Arch. f. Physiol. S. 206.

5828. Stevens. *Die Anomalien der Augenmuskeln.* Zweiter Theil. Arch. f. Augenheilkde. XXI. S. 335.

1891.

5829. V. Bravais. *Du mouvement des yeux dans la lecture.* Lyon méd. 29. Nov.

5830. Ferri. *Ueber die Axenrotation des Auges bei Seitwärtsneigung des Kopfes.* Giorn. dell' Acc. di Med. de Torino. H. 1—4.

5831. M. Herz. *Die Bulbuswege und die Augenmuskeln.* Pflüger's Arch. XLVIII. S. 385—417.

5832. M. Hornemann. *Zur Kenntnifs der Blickfeldbestimmung. Beiträge zur Methode der Blickfeldbestimmung, sowie perimetrische Messungen von monoculären Augenbewegungen im horizontalen und verticalen Meridian.* Diss. Halle.

5833. E. Landolt. *Beitrag zur Physiologie der Augenbewegungen.* Heidelberger Helmholtz-Festschr. S. 65—68.

5834. — *Nouvelles recherches sur la physiologie des mouvements des yeux.* Arch. d'Ophthalm. XI. S. 385—396.

5835. Rey. *Etude sur le centre de rotation de l'oeil humain.* Thèse de Toulouse.

5836. G. C. Savage. *The harmonious symmetrical action of the oblique muscles in all cases of astigmatism.* Ophthalm. Rec. I. S. 1.

5837. — *Insufficiency of the oblique muscles.* Arch. of Ophthalm. XX. S. 105—107.

1892.

5838. Bumstead. *A new test for the ocular muscles.* Ann. of Ophthalm. and Otology. I. S. 84.

5839. L. Ferri. *Schema rappresentativa delle azioni fisiologiche dei muscoli oculari e loro diplopie paralitiche.* Ann. di Ottalm. XXI. S. 65.

5840. Ferrier. *De l'action des muscles obliques.* Ann. d'Oculist. CVII. S. 92.

5841. Wiers. *Ueber die Ruhestellung der Augen.* Groningen.

1893.

6842. C. Hotz. *Ein bemerkenswerther Fall von totaler Lähmung des Internus und Externus beider Augen.* Arch. f. Augenheilkde. XXVI. S. 370—373.
6843. E. Landolt. *Tableau synoptique des mouvements des yeux et de leurs anomalies.* Paris.
6844. — *Uebersichtliche Zusammenstellung der Augenbewegungen im physiologischen und pathologischen Zustande.* Deutsch von H. Magnus. Augenärztliche Unterrichtstafeln für den akademischen und Selbstunterricht. Herausgegeben von H. Magnus. Heft 3. Breslau, Kern. 2. Aufl.
6845. Ostwalt. *Présentation d'un ophtalmophoromètre.* Congr. franc. d'Opht. — Revue génér. d'Ophth. S. 300.
6846. A. Roth. *Die Doppelbilder bei Augenmuskellähmungen in symmetrischer Anordnung.* Berlin. Hirschwald.
6847. O. Schwarz. *Vorzeigung eines Instrumentes zur Messung der „latenten Rollung“.* Ber. d. 23. Vers. d. Ophthalm. Ges. S. 223—228.

1894.

6848. Ch. Contejean u. A. Delmas. *Sur le „mouvement de roue“ du globe oculaire se produisant pendant l'inclinaison latérale de la tête.* Arch. de Physiol. (5.) VI. S. 687—692.
6849. A. Delmas. *Etude sur le mouvement de roue de l'oeil pendant l'inclinaison latérale de la tête.* Thèse de Paris.
6850. A. Graefe. *Accommodation und Convergenz.* Arch. f. Ophthalm. XL. (5.) S. 247.
6851. Katz. *Ueber anomale Association von Bewegungen des oberen Lides und der Regenbogenhaut mit Bewegungen des Augapfels.* Wratsch· S. 1268.
6852. Maddox. *Latent torsion of the eyes.* Ophthalm. Rev. S. 181.
6853. E. Landolt. *An Ophthalmotrope.* Trans. Ophth. Soc. U. K. XII. S. 256.
6854. J. Reboud. *La position de repos des yeux.* Arch. d'Ophthalm. XIV. S. 681—698.
6855. J. S. R. Russel. *An experimental investigation on eye movements.* Brit. Med. Journ. No. 1759. S. 588. — Journ. of Physiol. XVII. S. 1—27.
6856. — *Further researches on eye movements.* The Journ. of Physiol. XVII. S. 378—390.
6857. C. S. Sherrington. *Experimental note on two movements of the eye.* The Journ. of Physiol. XVII. S. 27—30.
6858. E. B. Tiffany. *Anomalies of refraction and of the muscles of the eye.* New York.
6859. L. Weiss. *Ueber das Verhalten vom Musculus rectus externus und rectus internus bei wachsender Divergenz der Orbita.* Arch. f. Augenheilkde. XXIX. S. 298.

---

§ 28.

Das monoculare Gesichtsfeld.

Man beachte in Bezug auf die Gröfse des Gesichtsfeldes die in § 10. 3 angegebene Litteratur. — Ueber optische Täuschungen finden sich weitere Litteraturangaben in § 29.

1709.

6860. Berkeley. *New theory of vision.* Section 79.
6861. Locke. *Essay concerning human understanding.* Bd. II. Ch. 9. § 8.

1728.

6862. Cheselden. Philos. Transact. XXXV. 447.

1738.

6863. Smith. *Opticks.* Remarks S. 27.

1759.

6864. Porterfield. *On the eye.* II. S. 285.

1772.

6865. Priestley. *Geschichte der Optik.* II. S. 512 der deutschen Uebersetzung.

1786.

6866. Grant. *Nachricht von den Erscheinungen nach der Operation eines Staars an einem Blindgeborenen.* Voigt's Mag. f. d. Physik u. Naturgeschichte. IV. (1.) S. 21.

1801.

6867. J. Ware. *Case of a young gentleman who recovered his sight when seven years of age.* Philos. Trans. XCI. S. 382—396.

1807.

6868. Home. Philos. Transact. P. I. — Bibl. Brit. XXXVII. S. 85. 1808.

1811.

6869. Steinbuch. *Beiträge zur Physiologie der Sinne.*

1812.

6870. J. C. Hoffbauer. *Psychologisch-optische Beobachtungen und Versuche, auch zur Bestätigung der Chesel den'schen Beobachtungen an Blindgeborenen, die zum Gesichte gelangt sind, mitgetheilt.* Reil und Hoffbauer, Beiträge zur Beförderung einer Kurmethode auf psychischem Wege. Halle. Bd. II. S. 249—277.

1826.

6871. J. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig. 1.

6872. J. Wardrop. *Case of a lady, born blind, who received sight at an advanced age by the formation of an artificial pupil.* Philos. Trans. III. S. 529—540.

1827.

6873. Tourtual. *Die Sinne des Menschen.* Münster.

1834.

6874. C. M. N. Bartels. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Berlin.

1836.

6875. A. W. Volkmann. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig.

1840.

6876. J. Müller. *Handbuch der Physiologie des Menschen.* Coblenz. Bd. II. S. 362.

1841.

6877. Franz. Philos. Transact. VI. S. 529.

1847.

6878. Trinchinetti. *Observations sur les premières impressions visuelles, aperçues par deux aveugles de naissance après l'opération de la cataracte.* Arch. d. sciences phys. et nat. VI. S. 336; Giorn dell' istituto Lombardo, fasc. 46 e 47.

1849.

6879. Waller. *Sur un cas, où la vue altérée faisait voir les objets plus petits que nature.* Inst. XVII. No. 787. S. 39.

1851.

6880. E. H. Weber. *Programmata collecta.* Fasc. III. — *Ueber den Tastsinn und das Gemeingefühl.* S. 559 in R. Wagner's Wörterb. d. Physiol.

6881. A. Fick. *De errore quodam optico assymmetria bulbi effecto.* Marburg. (Im Ausz. Zeitschr. f. rat. Med. (2.) II. S. 83.

1852.

6882. Knie. *Erinnerungen einer Blindgeborenen.* Breslau.

6883. E. H. Weber. *Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge.* Ber. d. sächs. Soc. S. 85 ff.

1853.

6884. E. H. Weber. *Ueber Gröfse, Lage und Gestalt des sog. blinden Flecks im Auge und die davon abhängigen Erscheinungen.* Ber. d. sächs. Soc. S. 149—158; Fechner's Centralbl. S. 929—941.

6885. A. Fick und P. du Bois Reymond. *Ueber die unempfindliche Stelle der Netzhaut im menschlichen Auge.* Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 396—407; — Fechner Centralbl. 1854. S. 57—72.

6886. A. W. Volkmann. *Ueber einige Gesichtsphänomene, welche mit dem Vorhandensein eines unempfindlichen Fleckes im Auge zusammenhängen.* Ber. d. sächs. Soc. S. 27—50. Fechner Centralbl. 1854. S. 57—72.

1854.

6887. J. Czermak. *Ueber die unempfindliche Stelle der Retina im menschlichen Auge.* Wien. Ber. XII. S. 358—364.

1855.

6888. J. J. Oppel. *Ueber geometrisch-optische Täuschungen.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1854—55. S. 37—47.

6889. H. Aubert. *Ueber den blinden Blick.* Jahresber. d. schles. Ges. 1854. S. 25—28.
6890. J. Budge. *Beobachtungen über die blinde Stelle der Netzhaut.* Verh. d. naturhist. Ver. d. Rheinl. S. XLI.
6891. H. Meyer. *Ueber den Einfluſs der Aufmerksamkeit auf die Bildung des Gesichtsfeldes überhaupt und des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes beider Augen im Besonderen.* Arch. f. Ophthalm. II. S. 77.

1856.

6892. H. Aubert u. Förster. *Ueber den Raumsinn der Netzhaut.* Jahresber. d. schles. Ges. S. 33—34.

1858.

6893. A. W. Volkmann. *Ueber den Einfluſs der Uebung auf das Erkennen räumlicher Distanzen.* Leipziger Ber. X. S. 38—69.
6894. — *Ueber das Vermögen, Gröſsenverhältnisse zu schätzen.* Leipziger Ber. X. S. 173—204.
6895. G. Th. Fechner. *Ueber ein psychophysisches Grundgesetz.* Abh. d. Leipziger Ges. VI. S. 457—532.
6896. J. J. Oppel. *Nachlese zu den geometrisch-optischen Täuschungen.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1856—57 S. 47—55 und 1860—61 S. 26—37.
6897. Ueberweg. *Zur Theorie der Richtung des Sehens.* Zeitschr. f. rat. Med. 3. Bd. V. S. 268—282.
6898. Nunnely. *On the Organs of Vision.*

1859.

6899. F. v. Recklinghausen. *Netzhautfunctionen.* Arch. f. Ophthalm. V. 2. S. 127—179. Pogg. Ann. CX. S. 65—92.
6900. Hegelmayer. *Ueber Sinnengedächtniſs.* Vierordt's Arch. XI. S. 844—853.

1860.

6901. F. Zöllner. *Ueber eine neue Art von Pseudoskopie.* Pogg. Ann. CX. S. 500—525. Cosmos. XVIII. S. 289—290. Zeitschr. f. Naturw. XVI. S. 60—63.

1861.

6902. E. Hering. *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig. Heft 1. Seite 65—80.
6903. E. Mach. *Ueber das Sehen von Lagen und Winkeln durch die Bewegung des Auges.* Wien. Ber. XLIII. 2. S. 215—224.
6904. F. Zöllner. *Ueber die Abhängigkeit der pseudoskopischen Ablenkung paralleler Linien von dem Neigungswinkel der sie durchschneidenden Querlinien.* Pogg. Ann. CXIV. S. 587—594.
6905. E. Bacaloglo. *Ueber die von Herrn Zöllner beschriebene Pseudoskopie.* Pogg. Ann. CXIII. S. 333—336; Zeitschr. f. Naturw. XVIII. S. 445.

1862.

6906. W. Wundt. *Beiträge zur Theorie des Sinneswahrnehmungen.* Leipzig u. Heidelberg. Abdr. a. d. Zeitschr. f. rat. Med. 1858—62.

1863.

6907. A. W. Volkmann. *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* Leipzig. Heft 1. S. 139—180.

1864.

6908. v. Wittich. *Studien über den blinden Fleck.* Arch. f. Ophthalm. IX. 3. S. 9—46.
6909. O. Funke. *Zur Lehre vom blinden Fleck.* Ber. d. naturf. Ges. zu Freiburg im Breisgau. Bd. III. Heft 3.

1865.

6910. H. Aubert. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau. S. 269—271.
6911. Delboeuf. *Essai d'une théorie psychophysique de la manière dont l'oeil apprécie les grandeurs.* Bull. de Brux. (2.) XIX. S. 523.
6912. — *Note sur certaines illusions d'optiques.* Bull. de Brux. (2.) XIX. S. 154—155.

1866.

6913. Delboeuf. *Notes sur certaines illusions d'optique. Essai d'une théorie psychophysique sur la manière dont l'oeil apprécie les distances, les angles et les grandeurs.* Mondes. XI. S. 391—398.
6914. H. Scheffler. *Die Statik der Netzhaut und die pseudoskopischen Erscheinungen.* Pogg. Ann. Bd. 127. S. 105—125.

1867.

6915. D. Brewster. *On a new property of the retina.* Edinb. Transact. XXIV. (2.) S. 327—331.

1869.

5916. M. Woinow. *Ueber das Sehen mit dem blinden Fleck und seiner Umgebung.* Arch. f. Ophthalm. XV. (2.) S. 155—166.

1873.

5917. A. A. G. Guje. *Over onbewuste besluiten en eene opmerking omtrent de pseudoscopish figuur van Zöllner.* Maandbl. voor Naturwetensch. No. 6.

1875.

5918. S. Exner. *Ueber das Sehen von Bewegungen und die Theorie des zusammengesetzten Auges.* Wien. Acad. Ber. (3.) 72. S. 156—190.

5919. A. v. Hippel. *Beobachtungen an einem mit doppelseitiger Cataract geborenen, erfolgreich operirten Kinde.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXI. 2. S. 101—131.

5920. J. Hirschberg. *Eine Beobachtungsreihe zur empiristischen Theorie des Sehens.* Arch. f. Ophthalm. XXI. 1. S. 23—42.

5921. Schneller. *Studien über das Blickfeld.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXI. 3. S. 133—198.

5922. H. Messer. *Ueber Täuschungen des Augenmafses.* Diss. Würzburg. 34 S.

5923. — *Notiz über die Vergleichung von Distanzen nach dem Augenmafs.* Pogg. Ann, CLVII. S. 172—175.

1876.

924. A. Bartoli. *Sulla sensibilità dell' occhio nella valutazione dei rapporti di grandezza delle lunghezze e degli angoli e sulla legge psico-fisica di Fechner.* Nuovo Cimento. Ser. II. Vol. XVI.

925. Dufour. *Guérison d'un aveugle-né. Observation pour servir à l'étude des théories de la vision.* Bull. de la Soc. med. de la Suisse rom. Separat. Lausanne.

926. F. Küster. *Die Directionskreise des Blickfeldes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXII. 1. S. 149—210. Utrecht'sche Onderzoekingen, Derde R. IV. S. 114—180. — XVII. Versl. van het Nederl. Gasthuis etc. S. 137—203.

927. Recordon. *Guérison d'un aveugle-né.* Bull. de la Soc. méd. de la Suisse romande.

928. Schneller. *Ergänzung zu den Studien über das Blickfeld.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXII. 4. S. 136—146.

1877.

929. A. Chodin. *Ist das Weber-Fechner'sche Gesetz auf das Augenmafs anwendbar?* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. 1. S. 92—108.

1878.

930. L. Fialla. *Guérison de six aveugles-nés.* Bukarest, Thiel & Weiss.

1879.

931. Heuse. *Noch einmal das Zöllner'sche Muster.* Arch. f. Ophthalm. XXV. 1. S. 116.

1880.

932. W. Holtz. *Ueber eine Augentäuschung beim Anblick geometrischer Figuren.* Wiedemann's Ann. X. S. 158—160.

933. L. Mauthner. Wien. med. Wochenschr.

934. Ch. Montigny. *Différence des appréciations de la grandeur apparente des images microscopiques par divers observateurs.* Bull. de l'Acad. Roy. Belg. (2.) XLIX. S. 670 bis 678.

1881.

35. Badal. *Micropsie, mascropsie et metamorphopsie rétiniennes.* Ann. d'Oculist. Bd. 85. S. 182—185.

36. A. Charpentier. *Täuschungen in der Abschätzung der Gröfse.* Compt. Rend. XCIII. S. 791—793.

37. — *Illusion relative à la grandeur et à la distance des objets dont on s'éloigne.* Compt. Rend. 21. März.

38. R. Schirmer. *Makropsie und Mikropsie.* Eulenburg's Real-Encykl. d. ges. Heilkde. VIII. S. 525.

1882.

39. E. v. Fleischl. *Localzeichen und Organgefühle.* Med. Jahrb. S. 91.

40. L. Meyer. *Blindgeborene.* Deutsch. med. Wochenschr. S. 177.

41. Stöber. *Sur le champ visuel.* Mém. Soc. de méd. de Nancy. (1880—1881.) LXVI.

42. R. Schirmer. *Metamorphopsie.* Eulenburg's Real-Encykl. d. ges. Heilkde. IX. S. 28.

1884.

6943. J. Albertotti. *Un cas de cataracte congénitale opérée.* Arch. Ital. de Biol. VI. S. 341—356.

6944. W. v. Bezold. *Eine perspectivische Täuschung.* Wiedemann's Ann. XXIII. S. 351.

1885.

6945. H. Armaignac. *De la vision chez les aveugles-nés qui recouvrent la vue dans un âge plus ou moins avancé, et de la vision d'un oeil atteint de cécité pendant une première période de l'existence et qui vient à recouvrer la vue, le second oeil ayant toujours été bon.* Rev. clin. d'Oculist. S. 212.

6946. C. J. A. Leroy. *De la perception monoculaire des grandeurs ou des formes apparentes.* Arch. d'Ophthalm. V. S. 216.

1886.

6947. Dor. *Guérison d'un aveugle de naissance.* Rev. gén. d'Ophthalm. No. 11. S. 481.

1887.

6948. Dor. *Guérison d'une aveugle née.* Lyon méd. LIV. S. 153.

6949. A. Szili. *Beobachtung nach binocularer Staarblindheit.* Szemészet. S. 57.

1888.

6950. Ch. Dunan. *L'espace visuel et l'espace tactile.* Rev. Philos. XIII. 2. S. 134.

6951. F. Fischer. *Bericht über ein achtjähriges Kind mit angeborener totaler Cataract und dessen Verhalten während der ersten drei Wochen nach wiedererlangtem Sehen.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 461.

6952. W. Goldzieher. *Zwei Fälle von beiderseitiger angeborener Cataract nebst Bemerkungen über das Sehenlernen Blindgeborener.* Wien. med. Wochenschr. Jahrg. 38. S. 32—36 u. 68—73.

6953. L. J. Hoppe. *Die Erklärung der Sinnestäuschungen bei Gesunden und bei Kranken.* Würzburg, Stuber. 306 S.

1889.

6954. Ch. Dunan. *Un nouveau cas de guérison d'aveugle-né.* Rev. philos. XIV. Jahrg. Bd. 27. S. 58—72.

6955. L..... *Note sur l'acquisition de la notion d'espace à propos d'observations récemment faites par M. Dunan.* La crit. philos. V. 4.

6956. G. Martius. *Ueber die scheinbare Gröfse der Gegenstände und ihre Beziehung zur Gröfse der Netzhautbilder.* Philos. Stud. V. S. 601—617.

6957. F. C. Müller-Lyer. *Optische Urtheilstäuschungen.* Du Bois' Arch. Suppl.-Bd. S. 263—271.

6958. H. Münsterberg. *Augenmafs.* Beitr. z. experiment. Psychol. Heft 2. S. 125—181. Freiburg i. B., Mohr.

1890.

6959. W. Láska. *Ueber einige optische Urtheilstäuschungen.* Du Bois' Arch. S. 326—328.

1891.

6960. R. Fischer. *Gröfsenschätzungen im Gesichtsfeld.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVII. 1. S. 97—136.

6961. — *Weitere Gröfsenschätzungen im Gesichtsfeld.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVII. 3. S. 55—85.

6962. J. v. Kries. *Beiträge zur Lehre vom Augenmafs.* Beitr. z. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. Hamburg, L. Voss. Helmholtzfestschrift. S. 173—194.

6963. Th. Lipps. *Aesthetische Factoren der Raumanschauung.* Festschr. z. Helmholtz' 70. Geburtstage. Hamburg, L. Voss. S. 217—307.

6964. E. Rählmann. *Physiologisch-psychologische Studien über die Entwickelung der Gesichtswahrnehmungen bei Kindern und bei operirten Blindgeborenen.* Zeitschr. f. Psychol. II. S. 53—96.

6965. K. F. Schwertassek. *Ueber die Theorie der Localzeichen.* Pr. Leitmeritz. 11 S.

6966. W. Uhthoff. *Untersuchungen über das Sehenlernen eines blindgeborenen und mit Erfolg operirten Knaben.* Beitr. z. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. Hamburg, L. Voss. Helmholtzfestschrift. S. 113—172. (Auch separat erschienen.)

1892.

6967. Fr. Brentano. *Ueber ein optisches Paradoxon.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 349 bis 358.

6968. Bribosia. *Guérison d'un aveugle de naissance; opération de cataracte congénitale double, chez un sujet de 15 ans.* Arch. d'Ophthalm. XII. 2. S. 88—95.

969. J. Delboeuf. *Sur une nouvelle illusion d'optique.* Bull. de l'Acad. de Belg. (3.) XXIV. S. 545—558.
970. A. Grafé. *Note sur un aveugle de naissance opéré de la cataracte à l'âge de quinze ans.* Rev. scientif. Bd. L. S. 67—75.
971. J. Jastrow. *On the judgment of angles and positions of lines.* Americ. Journ. of Psychol. V. 2. S. 214—248.
972. Th. Lipps. *Optische Streitfragen.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 493—504.
973. C. Stumpf. *Zum Begriff der Localzeichen.* Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 70—73.

1893.

974. W. Holtz. *Ueber den unmittelbaren Gröſseneindruck in seiner Beziehung zur Entfernung und zum Contrast.* Göttinger Nachrichten. S. 159—167.

1894.

975. F. Auerbach. *Erklärung der Brentano'schen optischen Täuschung.* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 152—160.
976. V. Franke. *Das Sehenlernen eines 26jährigen intelligenten Blindgeborenen.* Deutschmann's Beitr. z. Augenheilkde. H. 16. S. 1.

---

§ 29.

Die Richtung des Sehens.

Ueber optische Täuschungen findet sich weitere Litteratur in § 28.

1604.

77. Kepler. *Ad Vitellionem Paralipomena.* S. 169; 285; 69—70.

1619.

78. Scheiner. *Oculus.* Oenipontii. S. 192.

1637.

79. Descartes. *Dioptrice.* Leyden. S. 68.

1667.

80. Honoratus Fabri *Synopsis optica.* Lugduni.

1709.

81. Berkeley. *Essay towards a new theory of vision.*

1740.

82. Le Cat. *Traité des sens.* Rouen.
83. Wedel. *Ueber den Radius visorius des Honoratus Faber.* Halleri Disputat. anat. IV. S. 216.

1754.

84. Condillac. *Traité des sensations.*

1759.

85. Porterfield. *A treatise on the eye.* Edinburg. II. S. 285.

1761.

86. d'Alembert. *Opuscula mathematica.* I. S. 26, 265.

1771.

87. Boehm. *De Visione erecta.* Acta Hassiaca. S. 64.

1772.

88. Priestley. *History and present state of discoveries relating to vision, light and colours.* Uebers. v. Klügel. Leipzig 1775. S. 69.

1783.

89. Rochon. *Recueil de Mémoires sur la Mécanique et sur la Physique.* Brest. VI. S. 241.

1784.

90. Du Tour. *Mémoire pour établir que le point visible est vu dans le rayon qui va de ce point à l'oeil.* Mémoires de savans étrang. Paris. VI. S. 241.

6991. Fearn. *A rationale of the laws of cerebral vision, composing the laws of single and erect vision, deduced upon the Principle of Dioptrics.* London.

1788.

6992. Walter. Berliner dtsch. Abhdl. 3.

1793.

6993. Araldi. *Esame di uno fra i diversi dubbi messi dal celebre d'Alembert ai principi dell' Ottica; con alcune considerazioni sopra la teorica psicologica della visione.* Mem. dell' Istit. nazion. Ital. I. S. 451.

1794.

6994. Lichtenberg. Erxleben's Naturlehre. 6. Aufl. S. 328.

6995. Kaestner. Hamburger Magazin. VIII. St. 4. Art. 8; IX. St. 1. Art. 4.

1820.

6996. Rudolphi. *Physiologie.* II. S. 227.

1826.

6997. J. Müller. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig.

1834.

6998. C. M. N. Bartels. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Berlin.

1836.

6999. A. W. Volkmann. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig Auch in R. Wagner's Handwörterbuch d. Physiol. Art.: Sehen.

1837.

7000. Mile. *Ueber die Richtungslinien des Sehens.* Pogg. Ann. XLII. S. 245. — J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. 1838. S. 387.

1838.

7001. A. W. Volkmann. *Ueber die Lage des Kreuzungspunktes der Richtungsstrahlen des Lichtes im ruhigen und bewegten Auge.* Pogg. Ann. Bd. 45. S. 207.

1839.

7002. Knochenhauer. *Ueber die Richtungsstrahlen und Richtungslinien beim Sehen.* Pogg. Ann. Bd. 46. S. 248.

7003. A. W. Volkmann. *Erklärung einiger Gesichtsphänomene.* Müller's Arch. XXXIX. S. 233.

1842.

7004. Stamm. *Ueber Volkmann's Richtungslinien des Sehens und über die Ursachen der Undeutlichkeit aufserhalb der Augenaxen.* Pogg. Ann. LVII. S. 346.

1844.

7005. D. Brewster. *Law of visible position in single and binocular vision.* Edinb. Trans. XV

1847.

7006. H. W. Dove. *Ueber eine optische Täuschung beim Fahren auf der Eisenbahn.* Pogg Ann. Bd. 71. S. 118.

1849.

7007. J. Plateau. *Sur de nouvelles applications curieuses de la persistance des impressions de la rétine.* Bull. de Brux. XVI. II. S. 30, 254. — Inst. XVIII. No. 835. S. 5. — Phil. Magaz. XXXVI. S. 434, 436. — Pogg. Ann. LXXX. S. 150, 287.

1852.

7008. H. Boens. *Etude sur la vision de l'homme et des animaux.* Bull. de Brux XIX. 2. S. 155—161. (Cl. des sciences. S. 443—449.)

7009. H. Lotze. *Medicinische Psychologie.* S. 362—369.

1854.

7010. L. Fick. *Bemerkungen zur Physiologie des Sehens.* Müller's Arch. f. Anat. u Physiol. S. 220—225.

7011. A. v. Graefe. *Beiträge zur Physiologie und Pathologie der schiefen Augenmuskeln* Arch. f. Ophthalm. I. (1.) S. 67.

1855.

7012. H. Helmholtz. *Ueber das Sehen des Menschen, ein populär wissenschaftlicher Vortrag* Leipzig. S. 20—42.

7013. E. B. Hunt. *On our sense of the vertical and horizontal.* Sill. Journ. (2.) XX S. 368—375.

1856.

7014. J. J. Oppel. *Neue Beobachtungen und Versuche über eine eigenthümliche, noch wenig bekannte Reactionsthätigkeit des menschlichen Auges.* Pogg. Ann. XCIX S. 540—561.

1858.

7015. Ueberweg. *Zur Theorie der Richtung des Sehens.* Zeitschr. f. ration. Medicin. (3.) Bd. V. S. 268—282.

1860.

7016. J. J. Oppel. *Zur Theorie einer eigenthümlichen Reactionsthätigkeit des menschlichen Auges in Bezug auf bewegte Netzhautbilder.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1859—1860. S. 54—64. — Zeitschr. f. Naturw. XVII. S. 258—260.

7017. H. Aubert. *Eine scheinbare bedeutende Drehung von Objecten bei Neigung des Kopfes nach rechts und links.* Virch. Arch. XX. S. 381—393.

7018. G. Buechtemann. *De anomalia loci, quo rerum imagines in retina ortae, nec exstinctae oculis aversis referuntur.* Berlin.

1861.

7019. A. Nagel. *Das Sehen mit zwei Augen.* Breslau. S. 124—129.

7020. E. Hering. *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig. Heft 1. S. 35—64.

7021. Rainy. *Sur la cause des mouvements apparents des images des objets.* Ophthalm. Hosp. Rep. No. 12.

1862.

7022. F. Zöllner. *Ueber eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilder.* Pogg. Ann. CXVII. S. 477—484. — Zeitschr. f. Naturw. XXI. S. 163.

1863.

7023. J. Czermak. *Ueber das sogenannte Problem des Aufrechtsehens.* Wien. Ber. XVII. S. 566—574.

1864.

7024. G. Th. Ruete. *Ueber die Richtungslinien des Sehens.* Sitzgs.-Ber. II. S. 3. — Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 186.

1865.

7025. Alfred Graefe. *Ueber einige Verhältnisse des Binocularsehens bei Schielenden.* Arch. f. Ophthalm. XI. (2.) S. 6—16.

7026. H. W. Dove. *Ueber optische Täuschungen bei der Bewegung.* Berl. Ber. S. 129.

7027. H. Helmholtz. *Ueber den Einfluſs der Raddrehung der Augen auf die Projection der Retinabilder nach auſsen.* Verh. d. naturhist. Ver. in Heidelberg. III. S. 170, in Heidelb. Jahrb. d. Litt. No. 16. S. 244—245.

1867.

7028. Th. W. Engelmann. *Over schijnbewegingen bij nabelden.* Ned. Arch. III. S. 114

7029. — *Ueber Scheinbewegungen in Nachbildern.* Jenaische Zeitschr. f. Med. u. Naturw. III. S. 443.

1868.

7030. G. Otth. *Ueber eine intermittirende optische Täuschung.* Berner Mitth. 1868. S. 70—74.

1869.

7031. Lamansky. *Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit der Blickbewegung, resp. Augenbewegung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. II. S. 418—422.

7032. F. P. Le Roux. *Illusions du jugement qui accompagnent les perceptions visuelles.* Mondes. (2.) XXI. S. 477—479.

1871.

7033. Ph. Breton. *Danse apparente des fils télégraphiques vus par la fenêtre d'un wagon en marche rapide.* Mondes. (2.) XXVI. S. 548.

7034. F. C. Donders. *Die Projection der Gesichtserscheinungen nach den Richtungslinien.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (2.) S. 1—68.

1872.

7035. F. C. Donders. *De projectie der gezichtsverschynselen naar de richtungslijnen.* Onderzoekingen ged. in het Physiol. Laborat. d. Utrecht'sche Hoogeschool. Derde Reeks. I. S. 146—168. — Arch. néerl. VII. S. 254—276.

1873.

7036. E. Emmert. *Gesichtswahrnehmungen und Sinnestäuschungen.* Bern.

7037. J. Jago. *Visible direction: being an elementary contribution to the study of monocular and binocular vision.* Philos. Mag. (4.) XLVI. S. 80—84. Proc. Roy. Soc. XXI. S. 213—217.

7038. A. Thiersch. *Optische Täuschungen auf dem Gebiete der Architectur.* Zeitschr. f. Bauwesen. Jahrg. 1873.

1875.

7039. E. Mach. *Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen.* Leipzig.

7040. E. Hitzig. *Ein Fall von erworbenem rhythmischen Nystagmus mit davon abhängigen Schwindelempfindungen in Form von sehr ausgesprochenen Scheinbewegungen.* Berl. klin. Wochenschr. XII. S. 33.

1876.

7041. K. Vierordt. *Die Bewegungsempfindung.* Zeitschr. f. Biol. XII. S. 226—240.

1877.

7042. E. Brücke. *Bruchstücke aus der Theorie der bildenden Künste.* Intern. wiss. Bibl. Bd. 28. Brockhaus, Leipzig.

1878.

7043. G. H. Schneider. *Warum bemerken wir mäfsig bewegte Dinge leichter als ruhende?* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. II. S. 377—414.

7044. Stricker. *Ueber Sinnestäuschungen.* Wien. med. Bl. No. 4—6.

1879.

7045. J. Aitken. *Eine neue Art von Nachbildern.* Journ. of Anat. and Physiol. April.

7046. Giraud-Teulon. *Rapport sur une „Note relative à une illusion d'optique" par M. le Dr. Prompt.* Bull. de l'Acad. de méd. VIII. 36. S. 936—946.

7047. Haenel. *Ueber optische Täuschungen.* Jahresb. d. Ges. f. Natur- u. Heilkde. in Dresden. 1878—1879. S. 105.

7048. J. Hoppe. *Die Scheinbewegungen.* Würzburg.

7049. Kleiner. *Physiologisch-optische Beobachtungen. IV. Ueber Scheinbewegungen.* Pflüger's Archiv. XVIII. S. 542—573.

7050. Prompt. *Sur une illusion d'optique.* Gaz. méd. de Paris. No. 37.

7051. S. P. Thompson. *Some new optical illusions.* Monthly Journ. of Sc. März.

1880.

7052. S. P. Thompson. *Optical illusions of motion.* Brain. Vol. II. No. 3.

7053. J. Hoppe. *Die scheinbare Bewegung des Ufers in einer dem Wasser entgegengesetzten Richtung beim Stehen am fliefsenden oder doch bewegten Wasser.* Memorab. XXV. S. 108.

7054. G. Zehfuss. *Ueber Bewegungsnachbilder.* Wiedemann's Ann. IX. S. 672.

1881.

7055. Ch. S. W. Cobbold. *Observations on certain optical illusions of motion.* Brain. IV. 13. S. 75.

7056. Jackson. *Relation between the apparent movement of objects and the rotation of the eyes.* Transact. ophthalm. soc. of the United Kingd. I. Octbr. 13. — Lancet. II. No. 17.

7057. — *Apparent movement of objects during involuntary movements of the eyes.* Ophtalm. Rev. November. S. 16.

7058. E. Kraepelin. *Ueber Trugwahrnehmungen.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. V. S. 205—228, 349—369.

7059. Tschermak. *Zur Physiologie des Gesichtsorgans. Das Plateau-Oppel'sche Phänomen und sein Platz in der Reihe gleichartiger Erscheinungen.* Milit.-med. Journ. Juni-Juli. — Arch. f. Augenheilkde. XI. 2. S. 241.

1882.

7060. Bowditsch und G. S. Hall. *Optical illusions of motion.* Journ. of physiol. III. S. 297—307.

7061. Buccola. *La riproduzione della percezione del movimento nello spazio visivo.* Riv. di filos. scient. I. 4.

7062. F. C. Donders. *On the relation between the apparent movements of objects and the rotation of the eyes.* Transact. ophthalm. soc. of the United Kingd. London. 1881—1882. II. S. 21.

7063. E. v. Fleischl. *Physiologisch-optische Notizen.* II., V. u. VI. Mitth. Wiener Sitzungsber. Bd. 86. 3. Abth.

7064. Schöbl. *Eine eigenthümliche optische Täuschung.* Natur. No. 32.

1883.

7065. G. Mayerhausen. *Ueber die Gröfsenverhältnisse der Nachbilder bei geschlossenen Lidern.* Arch. f. Ophthalm. XXIX. 2. S. 23.

7066. — *Zur Casuistik der Gesichtstäuschungen.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXI. S. 271.

1884.

7067. E. Budde. *Ueber metakinetische Scheinbewegungen und über die Wahrnehmung der Bewegung.* Du Bois-Reymond's Arch. S. 127.

1885.

7068. Alix. *Une illusion de l'esprit.* Rev. méd. de Toulouse. XIX. S. 129.

7069. A. Brothers. *On a variation in the size of an image on the retina according to the distance of the background on which it is seen.* Chem. News. LI. S. 296.

7070. V. Kandinsky. *Kritische und klinische Betrachtungen im Gebiete der Sinnestäuschungen.* Berlin, Friedländer u. Sohn.

1886.

7071. H. Aubert. *Die Bewegungsempfindung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIX. S. 347.

7072. A. Charpentier. *Nouveaux faits à propos du balancement des étoiles.* Compt. Rend. CII. S. 1462.

7073. — *Mouvements apparents d'un petit objet faiblement éclairé dans le champ visuel obscur.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. II. S. 765. III. S. 226. — Compt. Rend. CII. S. 1025, 1155.

7074. — *Illusion visuelle.* Franc. méd. 17. Juni.

7075. — *Note sur une illusion visuelle.* Gaz. hebd. de méd. et de chir. No. 22. S. 363. — Compt. Rend. Bd. 102. S. 1155.

7076. S. Exner. *Ein Versuch über die Netzhautperipherie als Organ zur Wahrnehmung von Bewegungen.* Pflüger's Arch. XXXVIII. S. 217—218.

7077. A. König. *Ueber eine auf die empirische Grundlage unserer Raumanschauung bezügliche Beobachtung.* Wiedemann's Ann. XXVIII. S. 267—268. — Verhandl. d. Phys. Ges. zu Berlin vom 5. März.

7078. M. H. de Parville. *Sur une illusion visuelle et l'oscillation apparente des étoiles* Compt. Rend. CII. S. 1309.

1887.

7079. H. Aubert. *Die Bewegungsempfindung.* (Zweite Mittheilung nebst Nachtrag.) Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 459—480 u. 623—624.

7080. Berlin. *Ueber ablenkenden Linsen-Astigmatismus und seinen Einfluſs auf das Empfinden von Bewegung.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. Bd. V.

7081. S. Exner. *Einige Beobachtungen über Bewegungsnachbilder.* Centralbl. f. Physiol. S. 135.

7082. Ch. Féré. *Sensation et mouvement. Etude expérimentale de psycho-mécanique.* Paris.

1888.

7083. H. Aubert. *Physiologische Studien über die Orientirung.* Tübingen, Laupp. 122 S.

7084. D. Axenfeld. *Illusione visiva monoculare.* Acad. med. di Roma. XIV. S. 5.

7085. S. Exner. *Ueber optische Bewegungsempfindungen.* Biol. Centralbl. VIII. No. 14. S. 437—448.

7086. E. Hering. *Berichtigung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIV. (4.) S. 272.

7087. E. Heuse. *Zwei kleinere Mittheilungen aus dem Gebiete der physiologischen Optik.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIV. (2.) S. 127—134.

7088. A. E. Mulder. *Ons oordeel over verticaal, bij neiging van het hoofd naar rechts of links.* Feestbundel a. F. C. Donders, etc. Amsterdam. S. 340—352.

1889.

7089. H. Aubert. *Die Orientirung im Raume bei ruhendem und bewegtem Körper und über den Schwindel.* Arch. d. Ver. d. Freunde d. Naturg. in Mecklenburg. XLII. S. 249.

7090. Beevor. *Apparent movement of objects associated with giddines.* Ophthalm. Rev. VIII. S. 220.

1890.

7091. L. Ferri. *Dei movimenti apparenti. Osservazioni di fisiologia sulla sensazione visiva di movimento.* Giorn. d. R. Accad. med. di Torino. S. 172. — Ann. di Ottalm. XX. S. 400. 1891.

7092. Th. Lipps. *Ueber eine falsche Nachbildlocalisation.* Zeitschr. f. Psychol. I. S. 60 bis 74.

1891.

7093. A. Ahrens. *Untersuchungen über die Bewegung der Augen beim Schreiben.* Diss. Rostock. 30 S.

v. Helmholtz, Physiol. Optik, 2. Aufl.

1892.

7094. Th. Lipps. *Die Raumanschauungen und die Augenbewegungen.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 123—171.

7095. O. Schwarz. *Bemerkungen über die von Lipps und Cornelius besprochene Nachbilderscheinung.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 398—404.

1894.

7096. J. Hoppe. *Studie zur Erklärung gewisser Scheinbewegungen.* Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. VIII. S. 29—37.

7097. A. Kirschmann. *Die Parallaxe des indirecten Sehens und die spaltförmigen Pupillen der Katze.* Philos. Stud. IX. S. 447—496.

7098. H. W. Knox. *On the quantitative determination of an optical illusion.* Americ. Journ. of Psychol. VI. 3. S. 413—421.

7099. E. Milhaud. *La projection externe des images visuelles.* Rev. Philos. XXXVIII. 8. S. 210—222.

7100. L. W. Stern. *Die Wahrnehmung von Bewegungen mittelst des Auges.* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 321—386. Auch separat. Hamburg, L. Voss.

7101. J. Reboud. *La position de repos des yeux.* Arch. d'Ophthalm. XIV. S. 681—698.

---

§ 30.

Wahrnehmung der Tiefendimension.

1. Tiefenwahrnehmung ohne Rücksicht auf die Verschiedenheit der beiden Netzhautbilder.

150.

7102. Claudius Ptolemaeus. *Syntaxis mathematica (Almagest).* Lib. III. Cap. 3 u. Optica

1038.

7103. Alhazen. *Opticae thesaurus.* Lib. VII. S. 53—54. Edit. Risneri. Basil. 1572

1214—94.

7104. Roger Baco. *Opus majus.* London. 1733. Perspective. S. 118.

1271.

7105. Vitellio. *Optica.* S. 412. Edit. Risneri. Basil. 1572.

1583.

7106. J. B. Porta. *De refractione.* S. 24, 128.

1588—1679.

7107. Hobbes. Robin's Mathematical tracts. London. 1761. Vol. II. S. 241—244.

1604.

7108. Kepler. *Paralipomena.* S. 62—66.

1644.

7109. Descartes. *Dioptrice.* Amstelodami. S. 68. *De homine.* S. 66—71.

1658.

7110. P. Gassendi. *Opera omnia.* Lugduni II. S. 395.

1667.

7111. J. Gregory. *Geometriae pars universalis.* Venetiae. S. 141.

1674.

7112. Malebranche. *Recherche de la verité.* Paris. P. I.

1687.

7113. Molyneux. *Why celestial objects appear greatest near the horizon.* Phil. Trans. 1681. I. S. 221.

1694.

7114. De la Hire. *Sur différents accidents de la vue.* Anc. Mém. de Paris. IX.

1700.

115. Th. Gouye. *Mém. de Paris.* S. 11.

1709.

116. Berkeley. *Essay toward a new theory of vision.* Dublin. S. 30. — Auch in Robin's mathematical tracts. II. S. 242. London. 1761.

1712.

117. Jablot. *Déscription de plusieurs nouveaux microscopes.* (Umkehrung des Reliefs.)

1717.

118. Varignon. *Lignes suivant lesquelles des arbres doivent être plantés pour être vues deux à deux aux extrémités de chaque ordonnée à ces lignes sous des angles de sinus données.* Mém. de Paris.

1728.

119. R. Smith. *Optik.* Deutsche Ausgabe. S. 418. Ebenda Huygens in Art. 586.

1736.

120. J. Logan. *Some thoughts on the sun and the moon, when near the horizon appearing larger than when near the zenith.* Phil. Trans.

121. J. T. Desaguliers. *Attempt to explain the phenomenon of the horizontal moon appearing larger than when elevated, supported by an experiment.* Phil. Trans. LII. S. 462.

1745.

122. P. F. Gmelin. *De fallaci visione per microscopia composita notata.* Phil. Trans.

1755.

123. P. Bouguer. *Sur la grandeur apparente des objets.* Mém. de Paris.

1758.

124. J. E. Montucla. *Histoire des mathématiques.* Paris. Vol. I. S. 309.

1759.

125. W. Porterfield. *A treatise on the eye.* Edinburg. 2 Vol.

1762.

126. Sam. Dunn. *An attempt to assign the cause, why the sun and moon appear to the naked eye larger, when they are near the horizon.* Phil. Trans. Vol. VIII. S. 130.

1765.

27. J. H. Lambert. *Beiträge zum Gebrauch der Mathematik und deren Anwendung.* Berlin 1765—72. Bd. I. § 60—78.

1768.

28. L. Euler. *Lettres à une Princesse d'Allemagne.* Petersb. 1768—72. Deutsch von F. Kries. Leipzig. 1792—94. S. 317.

1772.

29. Priestley. *Geschichte der Optik.* Deutsch von Klügel. Leipzig. 1776. II. S. 491—511.

1786.

30. D. Rittenhouse. *Explanation of an optical deception.* Transact. Americ. Philos. Society. II. — Edinb. Journ. of science. VII. S. 99.

1828.

31. Muncke. Art.: *Gesicht* in Gehler's physik. Wörterb. Neu bearbeitet. Leipzig. IV. S. 1455.

1833.

32. Necker. *Ueber einige merkwürdige optische Phänomene.* Pogg. Ann. XXVII. S. 502.

1840.

33. Hueck. *Ueber die Täuschung des Fernrückens der Gesichtsobjecte.* Müller's Arch. S. 76.

1842.

34. H. Meyer. *Ueber einige Täuschungen in der Entfernung und Grösse der Gesichtsobjecte.* Arch. f. physiol. Heilkde. S. 316.

1847.

35. D. Brewster. *On the conversion of relief by inverted vision.* Edinb. Philos. Transact. XV. S. 657. Philos. Mag. XXX. S. 432. Athenaeum. No. 1029. S. 773.

1848.

36. Waller. *Sur un cas, où la vue altérée faisait voir les objets plus petits que nature.* Inst. XVII. No. 787. S. 39.

1850.

7137. De Haldat. *Mémoire sur quelques illusions d'optique et particulièrement sur l[e] modification des images oculaires.* Compt. Rend. XXXII. S. 357.

1853.

7138. H. Denzler. *Ueber eine Sinnestäuschung psychologischen Ursprungs.* Mitth. d[.] naturf. Ges. in Zürich. III. S. 216—218.

1854.

7139. Drobisch. *Ueber die Bestimmung der Gestalt des scheinbaren Himmelsgewölbes.* Ber[.] d. Leipz. Ges. der Wiss. S. 107.

1855.

7140. J. J. Oppel. *Ueber ein Anaglyptoskop. (Vorrichtung, vertiefte Formen erhaben z[u] sehen.)* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1854—1855. S. 55—57. — Pogg. Ann. XCIX[.] S. 466—469.

1856.

7141. A. Weber. *Ueber die scheinbare Umkehrung des Erhabenen und Vertieften.* Arch[.] f. Ophthalm. II. (1.) S. 141—146.

1858.

7142. H. Schroeder. *Ueber eine optische Inversion bei Betrachtung verkehrter, durc[h] optische Vorrichtung entworfener physischer Bilder.* Pogg. Ann. CV. S. 298—311[.]

1859.

7143. W. Wundt. *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Henle u. Pfeufer'[s] Zeitschr. (3.) VII. S. 279—317. (Ueber den Einfluſs der Accommodation auf di[e] räumliche Tiefenwahrnehmung.)

7144. P. L. Panum. *Die scheinbare Gröſse der gesehenen Objecte.* Arch. f. Ophthalm[.] V. (1.) S. 1—36.

1860.

7145. F. August. *Ueber eine neue Art stereoskopischer Erscheinungen.* Leipzig.

7146. D. Brewster. *On some optical illusions connected with the inversion of perspectiv[e.]* Athenaeum. 2. S. 24. — Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 7—8.

7147. Sinsteden. *Ueber ein neues pseudoskopisches Bewegungsphänomen.* Pogg. Ann. CX[I.] S. 336—339. — Cosmos. XVIII. S. 290—292.

7148. Mohr. *Ueber pseudoskopische Wahrnehmungen.* Pogg. Ann. CXI. S. 638—642.

1862.

7149. E. Emerson. *On the perception of relief.* Sill. Journ. (2.) XXXIV. S. 312—314[.] Philos. Mag. (4.) XXV. S. 125—130.

7150. R. T. Lewis. *On the changes in the apparent size of the moon.* Philos. Mag. (4.) XXIII. S. 380—382.

7151. T. Zeno. *On the changes in the apparent size of the moon.* Philos. Mag. (4.) XXIV[.] S. 390—392.

7152. G. Schweizer. *Ueber eine merkwürdige optische Täuschung, die bei der Betrachtun[g] des Mondes durch Fernröhre vorkommen kann.* Bull. de Moscou. 1. S. 336—33[.] Astronom. Nachrichten. LVIII. S. 182—192.

1865.

7153. E. Chevreul. *Note sur le Panorama.* Compt. Rend. Bd. 61. S. 670—671.

7154. J. C. Monro. *On a case of stereoscopic illusion.* Philos. Mag. (4.) Bd. 29. S. 1[.]

1866.

7155. F. C. Donders. *Invloed der accomodatie op de voorstelling von afstand.* Neder[l.] Arch. II. S. 212.

7156. J. Landerer. *Illusion optique.* Mondes. XI. S. 9—10.

1867.

7157. Schubring. *Wahrnehmung der Tiefendimensionen.* Corresp.-Bl. d. naturwiss. Ve[r.] in Halle. VIII. S. 253.

1868.

7158. E. Mach. *Beobachtungen über monoculare Stereoskopie.* Wien.

1869.

7159. F. Burckhardt. *Eine Relief-Erscheinung.* Pogg. Ann. Bd. 137. S. 417—474. Bas[.] Verh. V. S. 269—272.

7160. F. C. Donders. *Invloed der accomodatie op de voorstelling van afstand.* Vers. Neder[l.] Gasth. v. Oogl. No. 10. S. 111.

7161. E. Mach. *Beobachtungen über monoculare Stereoskopie.* Wien. Ber. LVIII. 2. S. 731—736.

1870.

7162. Emsmann. *Eine pseudoskopische und optometrische Figur.* Pogg. Ann. Bd. 141. S. 476—479.

7163. Hoffmann. *Optische Erscheinung auf fortdauernden Lichteindruck gegründet und Vorführung von Burckhardt's Reliefèrscheinungen.* Zeitschr. f. Naturwiss. (2). II. S. 205.

7164. J. Landerer. *Eine optische Täuschung.* Zeitschr. f. Naturw. XXXV. S. 214.

1872.

7165. van der Meulen. *Stereoscopie bij onvolkomen gezichtsvermogen.* Onderz. ged. in het phys. Lab. d. Utr. hoogesch. 3. reeks II.

7166. van der Meulen und T. C. van Dooremaal. *Stereoscopisch zien, zonder correspondeerende half beelden.* Onderz. ged. in het phys. Lab. d. Utr. hoogesch. 3. reeks II. S. 119.

7167. Vogel und Zenker. *Die körperliche Wahrnehmung einer einfachen Zeichnung.* Athenäum 2. S. 86.

1873.

7168. van der Meulen en van Dooremaal. *Stereoskopisches Sehen ohne correspondirende Halbbilder.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 137—141.

1874.

7169. J. Samelsohn. *Ueber eine besondere Art monocularer Reliefanschauung.* Arch. f. d. ges. Physiol. IX. S. 221—226.

1877.

7170. E. Brücke. *Bruchstücke aus der Theorie der bildenden Künste.* Internat. wiss. Bibl. Bd. 28. Leipzig, Brockhaus.

7171. S. P. Thompson. *On the chromatique aberration of the eye in relation to the perception of distance.* Philos. Mag. Juli 1877.

1879.

7172. A. Berlin. *Taxation der Entfernung bei einseitig erblindeten Pferden.* Vers. d. Naturf. u. Aerzte in Baden-Baden. Tagebl. S. 348.

1880.

7173. J. Plateau. *Une application des images accidentelles.* Bull. de l'Acad. de Belg. (2.) XLIX. S. 316.

1881.

7174. J. Plateau. *Une application des images accidentelles.* Deuxième Note. Bull. de l'Acad. de Belg. (3.) II. S. 281.

1882.

7175. G. Hauck. *Die malerische Perspective.* Wochenbl. f. Architectur u. Ingenieure. Jahrg. IV. No. 52, 54, 56 u. 58. — Sep. Berlin, Springer.

1883.

7176. Govi. *Intorno allo scopritore di una singolare illusione ottica.* Atti R. dei Lincei. (3.) Trans. VII. S. 183—187.

1884.

7177. W. v. Bezold. *Eine perspectivische Täuschung.* Wiedem. Ann. XXIII. S. 351.

7178. P. Stroabant. *Sur l'agrandissement des constellations, du soleil et de la lune à l'horizon.* Bull. Acad. Roy. Belg. (3). VIII. S. 719—734.

1885.

7179. G. Hauck. *Die Grenzen zwischen Malerei und Plastik und die Gesetze des Reliefs.* Berlin.

7180. J. Oughton. *On the secondary nature of monocular relief.* Lancet. 8. Juli. II. S. 8, 27, 62.

7181. P. Strobant. *Nouvelles recherches sur l'agrandissement apparent des constellations, du soleil et de la lune à l'horizon.* Bull. de l'Acad. roy. de Belg. (3). X. No. 8.

7182. — *Récréations scientifiques. Curieuse illusion d'optique.* La Nature. XIII. (2.) S. 64.

1887.

7183. J. Hoppe. *Beitrag zur Erklärung des Erhaben- und Vertieftsehens.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 523.

7184. J. Loeb. *Dioptrische Fehler des Auges als Hülfsmittel der monocularen Tiefenwahrnehmung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 371.

7185. J. Loeb. *Ueber die optische Inversion ebener Linienzeichnungen bei einäugiger Betrachtung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 274.

1888.

7186. M. Blondel. *Une association inséparable, l'agrandissement des astres à l'horizon.* Rev. philos. XIII. Bd. 11. S. 489.
7187. E. Heuse. *Zwei kleinere Mittheilungen aus dem Gebiete der physiologischen Optik.* Arch. f. Ophthalm. XXXIV. (2.) S. 127—134.
7188. J. Hoppe. *Die Umkehrung des Sehens und des Gesehenen mit Beziehung auf di gleichzeitige Schabprägung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLIII. S. 295.

1889.

7189. M. Blondel. *L'agrandissement des astres à l'horizon.* Rev. philos. XIV. Jahrg. Bd. 27. S. 197—199.
7190. B. Bourdon. *La vision des monuments élevés.* Rev. Scient. XLV. S. 763.
7191. Daudel. *A propos de la vision des monuments élevés.* Rev. Scient. XLIV. S. 73
7192. V. Egger. *La vision des monuments élevés.* Rev. Scient. XLIV. S. 745—747.
7193. W. Hilker. *Versuche über die Fähigkeit der Schätzung nach der Tiefendimensio bei den verschiedenen Brechungszuständen der Augen, bei Sehschärfenherabsetzung un beim Fehlen des binocularen Sehactes.* Inaug.-Diss. Marburg.
7194. A. Rémy. *La vision des monuments élevés.* Rev. Scient. XLIV. S. 237—239.
7195. F. Rozier. *La vision des monuments élevés.* Rev. Scient. XLIV. S. 1 u. 653. — XLV. S. 668 u. 763.

1890.

7196. Prompt. *Remarques sur la sensation du relief, d'après une intéressante illusio d'optique.* Arch. de Physiol. (5). II. S. 59—67.
7197. G. Sorel. *La vision des objets élevés.* Rev. Scientif. XLV. No. 18. S. 565.

1891.

7198. C. S. Cornelius. *Zur Theorie des räumlichen Vorstellens mit Rücksicht auf ein Nachbildlocalisation.* Zeitschr. f. Psychol. II. S. 64—179.
7199. C. St. Wake. *The third dimension in monocular vision.* The Open Court. Chicag No. 179. 29. Jan.

1892.

7200. A. E. Bostwick. *Estimates of distance.* Science. XIX. S. 118.

1894.

7201. W. Filehne. *Die Form des Himmelsgewölbes.* Pflüger's Arch. Bd. 59. S. 279—30
7202. F. Hillebrand. *Das Verhältniſs von Accommodation und Convergenz zur Tiefen localisation.* Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 97—151.

2. Stereoskopie und binoculare Tiefenwahrnehmungen.

300 v. Chr.

7203. Euclides. *Optice et Katoptrice.*

1583.

7204. J. B. Porta. *De refractione.*

1613.

7205. F. Aguilonius. *Opticorum Libri VI.* Antwerpen.

1651.

7206. Leonardo da Vinci (geb. 1452, gest. 1519). *Trattato della pittura.* Rom.

1728.

7207. R. Smith. *Optics.* II. S. 388 und 526.

1792.

7208. W. C. Wells. *Essay upon single vision with two eyes.* London. 1792. Neue Auflag London 1818.

1811.

7209. W. C. Wells. *Observations and experiments on vision.* Phil. Trans.

1833.

7210. A. Mayo. *Outlines of human physiology.* S. 288.

1838.

7211. C. Wheatstone. *Contributions to the physiology of vision.* Part. I. *On some remarkable and hitherto unobserved phenomena of binocular vision.* Phil. Trans. P. I. S. 371—394.

1839.

7212. C. Wheatstone. *Ueber das Sehen mit zwei Augen und das Stereoskop.* Pogg. Ann. Bd. 47. S. 625. — Bibl. Univ. N. S. Bd. XVII. S. 174.

1841.

7213. E. Brücke. *Ueber die stereoskopischen Erscheinungen.* Müller's Arch. S. 459.

1842.

7214. Tourtual. *Die Dimension der Tiefe im freien Sehen und im stereoskopischen Bilde.* Münster.

1844.

7215. D. Brewster. *Law of visible position in single and binocular vision and on the representation of solid figures by the union of dissimilar plane pictures in the retina.* Edinb. Phil. Trans. XV. — Philos Mag. XXIV. S. 356—439.

1848.

7216. F. C. Donders. *Ueber den Zusammenhang zwischen dem Convergiren der Sehaxen und dem Accommodationszustand der Augen.* Holl. Beiträge. I. S. 379.

1850.

7217. D. Brewster. *Notice of a chromatic stereoscope.* Edinb. Journ. XLVIII. S. 150. — Inst. No. 850. S. 128. — Philos Mag. (4.) III. S. 31. — Sill. Journ. (2.) XV. S. 289—290.

7218. J. Duboscq. *Déscription du stéréoscope de M. Brewster construit par lui.* Compt. Rend. XXXI. S. 895. — Bull. de la Soc. d'encour. d. sc. 1851. S. 45. — Dingler's polyt. Journ. CXX. S. 159. — Athenaeum. 1861. S. 1350.

7219. H. W. Dove. *Ueber das Binocularsehen prismatischer Farben und eine neue stereoskopische Methode.* Pogg. Ann. LXXX. S. 446. — Berl. Monatsber. S. 152. — Arch. de Genêve. XIX. S. 219.

7220. — *Beschreibung mehrerer Prismenstereoskope und eines einfachen Spiegelstereoskops.* Pogg. Ann. LXXXIII. S. 183. — Berl. Monatsber. 1851. S. 246. — Philos Mag. (4.) II. S. 29. — Inst No. 937. S. 404.

7221. — *Ueber eine bei dem Doppeltsehen einer geraden Linie wahrgenommene Erscheinung.* Berl. Monatsber. S. 363. — Inst. No. 907. S. 128.

1852.

7222. J. Duboscq. *Nouveaux stéréoscopes.* Cosmos. I. S. 97—104, 703—705.

7223. D. Brewster. *Description of several new and simple stereoscopes for exhibiting, as solids, one or more representations of them on a plane.* Philos Mag. (4.) III. S. 16 bis 26. Trans. of Scott. Soc. of arts. 1849. Rep. of Brit. Assoc. 1849. 2. S. 5. Arch. d. sc. phys. XIX. S. 200—204. Dingler's polyt. Journ. CXXIV. S. 109—112. Sill. Journ. (2.) XV. S. 140—142, 288—289.

7224. — *Account of a binocular camera and of a method of obtaining drawings of full length and colossal statues.* Phil. Mag. (4.) III. S. 26—30. Trans. of Scott. Soc. of arts. 1849. Rep. of Brit. Assoc. 1849. 2. S. 5.

7225. — *Sur la vision binoculaire et le stéréoscope.* Cosmos. I. S. 422—425. North Brit. Rev. May.

7226. E. Wilde. *Ueber die Anwendung der Camera lucida zu einem Stereoskope.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 63—67.

7227. C. Wheatstone. *Contributions to the physiology of vision.* P. II. *On some remarkable and hitherto unobserved phenomena of binocular vision.* Philos. Mag. (4.) III. S. 149—152, 504—523. Inst. S. 179—180. Arch. d. sc. phys. XIX. S. 196—200.

7228. H. Meyer. *Ueber die Schätzung der Gröfse und der Entfernung der Gesichtsobjecte aus der Convergenz der Augenaxen.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 198—207. Arch. d. sc. phys. XX. S. 137—138. Cosmos. I. S. 47.

7229. H. W. Dove. Pogg. Ann. LXXXV. S. 407—408.

1853.

7230. W. Rollmann. *Notiz zur Stereoskopie.* Pogg. Ann. LXXXIX. S. 350—351.

7231. — *Zwei neue stereoskopische Methoden.* Pogg. Ann. XC. S. 186—187. Zeitschr. f. Naturwiss. III. S. 97—100. Fechner's Centralbl. 1855. S. 980—981

7232. W. Hardie. *Description of a new pseudoscope.* Philos. Mag. (4.) V. S. 442—446.

7233. C. Clarke. *Perfectionnements apportés au stéréoscope.* Cosmos. III. S. 123.

7234. Kilburn. *Stéréoscope-écrin.* Cosmos. III. S. 770.

1854.

7235. J. Duboscq. *Stéréoscope cosmoramique ou optique stéréoscopique.* Cosmos. IV. S. 33—35.

7236. A. Claudet. *Théorie des images stéréoscopiques.* Cosmos. IV. S. 65—67.

7237. A. Claudet. *Angle stéréoscopique.* Cosmos. IV. S. 147.

7238. G. Knight. *On a stereoscopic cosmoramic lens.* Athenaeum. S. 1241—1242 Cosmos. V. S. 240. Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 70.

7239. Moigno. *Invention du stéréoscope par réfraction.* Cosmos. V. S. 241.

7240. Smee. *Sur la perspective binoculaire.* Cosmos. V. S. 512—513.

1855.

7241. J. Czermak. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes.* Wien. Ber. XII. S. 322 bis 366; XV. S. 425—466; XVII. S. 563—576.

7242. — *Das Stereophoroskop.* Wiener Ber. Bd. XV. S. 463.

7243. F. Burckhardt. *Ueber Binocularsehen.* Verh. d. naturf. Ges. in Basel. I. S. 122 bis 154.

7244. Soret. *Sur un phénomène de vision binoculaire.* Bibl. univ. de Genève. Octobre

1856.

7245. W. B. Rogers. *Observations on binocular vision.* Sill. Journ. (2.) XXI. S. 80—95 S. 173—189; S. 439. Edinb. Journ. (2.) III. S. 210—217.

7246. D. Brewster. *On Mr. Roger's theory of binocular vision.* Proc. of Edinb. R. Soc. III. S. 356—358.

7247. — *The stereoscope, its history, theory and construction.* London.

7248. — *Réclamation de priorité.* Cosmos. VIII. S. 549—552.

7249. J. J. Oppel. *Notizen über Stereoskopie, insbesondere über eine einfache vergröfsernde Modification des Stereoskops ohne Spiegel und Gläser.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1855—1856. S. 37—56.

7250. Faye. *Sur un nouveau système de stéréoscope.* Compt. Rend. XLIII. S. 673—674. Pogg. Ann. XCIX. S. 641—642. Cosmos. IX. S. 374—375. Inst. S. 349. Arch. de sc. phys. XXXIII. S. 221. Dingler's polyt. Journ. CXLIII. S. 316.

7251. Zinelli. *Neue Methode, die Bilder im Relief zu sehen.* Zeitschr. f. Mathematik. 1. S. 320—321. — Horn's photogr. Journ. No. 10. — Dingler's polyt. Journ. CXL. S. 315.

7252. H. Goldschmidt. *Sur la vision stéréoscopique.* Cosmos IX. S. 657.

7253. H. Meyer. *Beitrag zur Lehre von der Schätzung der Entfernung aus der Convergenz der Augenaxen.* Arch. f. Ophthalm. II. (2.) S. 92—94.

7254. J. M. Hessemer. *Ueber die Anfertigung stereoskopischer Bilder.* Dingler's polyt. Journ. LXXXIX. S. 111—121.

7255. Lugeol. *Stereoscopic experiment.* Sill. Journ. (2.) XXII. S. 104.

7256. Sutton. *Sur la théorie du stéréoscope.* Cosmos. IX. S. 313—319.

7257. A. Claudet. *On various phenomena of refraction through semilenses or prisms, producing anomalies in the illusion of stereoscopic images.* Proc. of R. Soc. VIII. S. 104—110. Athenaeum. S. 1029. Cosmos. XI. S. 283—285. Inst. S. 346. Philos. Mag. (4.) XIII. S. 71—75. Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 9—10.

7258. C. Wheatstone. *Réponse aux assertions de Sir D. Brewster.* Cosmos. VIII. S. 625 bis 628.

1857.

7259. H. W. Dove. *Ueber die Unterschiede monocularer und binocularer Pseudoskopie.* Berl. Monatsber. S. 221—226. Pogg. Ann. CI. S. 302—308.

7260. — *Darstellung von Körpern durch Betrachtung einer Projection derselben vermittelst eines Prismenstereoskops.* Berl. Monatsber. S. 291.

7261. A. Cima. *Sopra un nuovo fenomeno di stereoscopia.* Cimento. VI. S. 185—192. Compt. Rend. XLV. 664. Philos. Mag. (4.) XIV. S. 480. Pogg. Ann. CII. S. 319. Inst. S. 364—365. Cosmos. XI. S. 353—354.

7262. J. G. Halske. *Stereoskop mit beweglichen Bildern.* Pogg. Ann. C. S. 657—658.

7263. J. Elliot. *The telescoping stereoscope.* Philos. Mag. (4.) XIII. S. 78. Sill. Journ. (2.) XXIII. S. 292.

7264. — *On two nev forms of the stereoscope, intended for the purpose of uniting large binocular pictures.* Philos. Mag. (4.) XIII. S. 104—108; 218—219.

7265. H. Helmholtz. *Das Telestereoskop.* Pogg. Ann. CI. S. 494—496; CII. S. 167 bis 175. — Verh. d. naturh. Ver. d. Rheinl. S. 79—81. — Ann. d. chim. (3.) LII. S. 118—124. — Philos. Mag. (4.) XV. S. 19—24. — Inst. 1858. S. 63—64. — Sill. Journ. (2.) XXV. S. 297—298. — Dingler's polyt. Journ. CXLIV. S. 268—270. Polytechn. Centralbl. S. 1449—1450; 1858. S. 180—186. — Cimento. VI. S. 239 bis 240. — Cosmos. XI. S. 352—353.

7266. J. Duboscq. *Note sur une nouvelle disposition de stéréoscope à prismes réfringents, à angle variable et lentilles mobiles.* Compt. Rend. XLIV. S. 148—150. — Cosmos. X. S. 91—92.

7267. W. Crookes. *Théorie des images stéréoscopiques.* Cosmos. X. S. 461—462.

7268. D. Brewster and C. Wheatstone. Liverpool and Manchester Photographic Journ. January 1. S. 4—7; January 15. S. 21—23. *(Prioritätsstreit.)*

7269. C. Wheatstone. *The original invention of the stereoscope.* The Liverpool and Manchester Photographic Journ. No. 1 u. 2.

7270. J. J. Oppel. *Bemerkungen zur Stereoskopie, insbesondere zur Erklärung des Glanzes zweifarbiger Bilder.* Pogg. Ann. Bd. 100. S. 462.

1858.

7271. H. W. Dove. *Ueber den Einfluſs des Binocularsehens bei Beurtheilung der Entfernung durch Spiegelung und Brechung gesehener Gegenstände.* Berl. Monatsber. S. 312 bis 315. — Pogg. Ann. CIV. S. 325—329. — Inst. S. 282—283.

7272. W. Hardie. *On the telestereoscope.* Philos. Mag. (4.) XV. S. 156—157. *(Prioritätsreclamation.)*

7273. Smith and Beck. *Improvements to the stereoscope.* Athenaeum. II. S. 269—270.

7274. A. Boblin. *Expérience d'optique permettant d'obtenir d'une seule épreuve photographique la sensation d'un corps en relief.* Bull. de Brux. (2.) V. S. 304—306. Inst. S. 431—432. Compt. Rend. XLVII. S. 444.

7275. A. Claudet. *On the stereomonoscope.* Philos. Mag. (4.) XVI. S. 462—463. Proc. of Roy. Soc. IX. S. 194—196. Dingler's polyt. Journ. CLI. S. 72—73. Cosmos. XII. S. 493.

7276. J. C. D'Almeida. *Nouvel appareil stéréoscopique.* Compt. Rend. XLVII. S. 61—63.

1859.

7277. F. v. Recklinghausen. *Netzhautfunctionen.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 127 bis 179. — Pogg. Ann. CX. S. 65—92.

7278. E. Brücke. *Eine Dissectionsbrille.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 181—183.

7279. H. W. Dove. *Stereoskopische Darstellung eines durch einen Doppelspath binocular betrachteten Typendrucks.* Berl. Monatsber. S. 278—280. Pogg. Ann. CVI. S. 655 bis 657. Philos. Mag. (4.) XVII. S. 414—415.

7280. — *Anwendung des Stereoskops, um einen Druck von seinem Nachdruck, überhaupt ein Original von seiner Copie zu unterscheiden.* Berl. Monatsber. S. 280 bis 288. Pogg. Ann. CVII. S. 657—660. Phil. Mag. (4.) XVII. S. 415—417. Dingler's polyt. Journ. CLIII. S. 451—454. Polytechn. Centralbl. S. 741—744.

7281. J. Müller. *Stereoskopische Mondphotographie.* Pogg. Ann. CVII. S. 660. — Ber. d. Freib. Ges. II. S. 67. — Dingler polyt. Journ. CLIII. S. 75.

7282. W. de la Rue. *Report of the present state of celestial photography in England. Stereoscopic pictures of the moon.* Rep. of. Bris. Assoc. 1. S. 143—145. Cosmos. XV. S. 519—521.

7283. — *Stereoscopic pictures of the larger planets.* Rep. of Brit. Assoc. 1. S. 148—149.

7284. J. J. Oppel. *Ueber das Einfachsehen doppelter Bilder bei gekreuzten Augenaxen.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1858—59. S. 22—38; S. 64—75.

7285. Samuel. *On an early form of the lenticular stereoscope constructed for the use of schools.* Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 19.

7286. H. W. Dove. *Optische Studien, Fortsetzung der in der Farbenlehre enthaltenen* Berlin. (Sammlung der bisher citirten Aufsätze.)

7287. J. Beck. *On producing the idea of distance in the stereoscope.* Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 7.

7288. E. Douliot. *Sulla percezione de' rilievi nello stereoscopio e nella natura.* Cimento. X. S. 342—352.

1860.

7289. P. Volpicelli. *Di uno stereoscopio diaframmatico.* Cimento. XII. S. 181—189.

7290. J. Beck. *Verbesserungen an Stereoskopen.* Lond. Journ. of arts. Juni. — Dingler's polyt. Journ. CLVII. S. 277—278.

7291. H. W. Dove. *Ueber die Nicht-Identität der Gröſse der durch Prägen und Guſs in derselben Form von verschiedenen Metallen erhaltenen Medaillen.* Pogg. Ann. CX. S. 498—499. Philos. Mag. (4.) XX. S. 327. Dingler's polyt. Journ. CLVII. S. 280—281.

7292. A. Rollet. *Physiologische Versuche über binoculares Sehen, angestellt mit Hülfe planparalleler Glasplatten.* Wien. Ber. XLII. S. 488—502.
7293. E. Brücke. *Ueber prismatische Brillen.* Wien. med. Wochenschr. 9. Juni.
7294. Giraud Teulon. *Über prismatische Brillen.* Compt. Rend. Bd. L. S. 382—385.
7295. T. W. Jones. *On the invention of stereoscopic glasses for single pictures: with preliminary observations on the stereoscope and on the physiology of stereoscopic vision.* London.
7296. F. August. *Ueber eine neue Art stereoskopischer Erscheinungen.* Pogg. Ann. Bd. 110. S. 582.
7297. C. G. Th. Ruete. *Das Stereoskop.* Leipzig.
7298. Rogers. *Some experiments and inferences on regard to binocular vision.* Proc. of the Amer. Assoc. S. 187.
7299. F. v. Recklinghausen. *Zur Theorie des Sehens.* Pogg. Ann. Bd. 110. S. 65.

1861.

7300. W. Wundt. *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Vierte Abhandl. *Ueber das Sehen mit zwei Augen.* Henle und Pfeuffer's Zeitschr. (3.) XII. S. 145—262. Pogg. Ann. CXVI. S. 617—628. (Die citirten Aufsätze sind gesammelt erschienen unter dem Titel: W. Wundt, *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Leipzig u. Heidelberg. 1862.)
7301. O. Becker und A. Rollet. *Beiträge zur Lehre vom Sehen der dritten Dimension.* Wien. Ber. XLIII. (2.) S. 667—706.
7302. H. W. Dove. *Ueber Binocularsehen und subjective Farben.* Berl. Monatsber. S. 521—522. Pogg. Ann. CXIV. S. 163—165.
7303. F. Rossetti. *Della visione binoculare.* Venezia.
7304. J. J. Oppel. *Bemerkungen über Accommodation beim stereoskopischen Sehen.* Jahresber. d. Phys. Ver. Frankfurt a. M. 1860/61. S. 48.
7305. F. Giraud-Teulon. *Physiologie et pathologie fonctionelle de la vision binoculaire.* Avec. 114 Fig. Paris.
7306. L. v. Babo. *Ueber die stereoskopische Darstellung mikroskopischer Gegenstände.* Ber. d. Freiburger Ges. II. S. 312—314.
7307. T. du Moncel. *Rapport sur les appareils stéréoscopiques de Mr. Ph. Benoist.* Bull. de la Soc. d'encour. 1. S. 198—201.

1862.

7308. J. Towne. *The stereoscope and stereoscopic results.* Guy's Hosp. Rep. 1862 u. 1863. S. 103. XI. S. 144—180.
7309. E. Hering. *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig. 1861—1864. 2. bis 5. Heft.
7310. A. Rollet. *Physiologische Versuche über binoculares Sehen.* Wien.

1863.

7311. H. Pick. *Ueber das Stereoskop.* Wien.

1864.

7312. Knapp. *Exposé des avantages de l'ophthalmoscope binoculaire.* Ann. d'Oculist.
7313. W. v. Bezold. *Zur Lehre vom binocularen Sehen.* Sitzgs.-Ber. d. Münch. Akad. d. Wiss. S. 372—381.

1865.

7314. W. v. Bezold. *Ueber binoculares Sehen.* Zeitschr. f. Biol. I. S. 237—262.
7315. A. Claudet. *On moving photographic figures illustrating some phenomena of vision connected with the combination of the stereoscope and the phenakistoscope, by means of photography.* Athen. S. 374. Rep. Brit. Assoc. (2.) S. 9.
7316. Dancer. *Sur la vision pseudoscopique à travers un prisme.* Mondes. VIII. S. 260.
7317. H. Helmholtz. *Ueber stereoskopisches Sehen.* Verhandl. d. naturhist. med. Vereins zu Heidelberg, im Heidelb. Jahrb. No. 46. S. 728—731.
7318. E. Hering. *Die Gesetze der binocularen Tiefenwahrnehmung.* Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 79—97 u. 152—165.
7319. J. Towne. *The stereoscope and stereoscopic results.* Guy's Hosp. Rep. S. 144.

1866.

7320. W. v. Bezold. *Ueber binoculares Sehen.* Nachtrag. Zeitschr. f. Biol. II. S. 178—187.
7321. Böttcher. *Ueber Augenbewegungen und binoculare Perspective nach eigenen Untersuchungen.* Arch. f. Ophthalm. XII. 2. S. 22.
7322. — *Ueber das Minimum der stereoskopischen Wahrnehmung.* Berl. klin. Wochenschr. No. 4.

7323. F. C. Donders. *Het binoculaire zien en de voorstelling der derde dimensie.* Verslag Ned. Gasth. voor Oogl. No. 7. S. 101. Nederl. arch. voor Genees en Natuurk. II. S. 303.

7324. F. C. Donders und Doijer. *La vision binoculaire et la perception de la troisième dimension.* Amsterdam.

7325. E. Javal. *Sur un instrument nommé „iconoscope", destiné à donner du relief aux images planes examinées avec les deux yeux.* Compt. Rend. LXIII. S. 927—928.

1867.

7326. W. v. Bezold. *Ueber binoculares Sehen.* Pogg. Ann. CXXX. S. 424—433. Philos. Mag. (4.) XXXIII. S. 326—332.

7327. A. Claudet. *On a new fact relating to binocular vision.* Philos. Mag. (4.) XXXIII. S. 549—554. Proc. Roy. Soc. XV. S. 424—429.

7328. H. W. Dove. *Optische Notizen: III. Ueber Inversionen bei binocularer und monocularer Betrachtung perspectivischer Zeichnungen und durchsichtiger Körper.* Pogg. Ann. CXXXII. S. 474—479.

7329. F. C. Donders. *Das binoculare Sehen und die Vorstellung von der dritten Dimension.* Arch. f. Ophthalm. XIII. (1.) S. 1.

7330. E. Mach. *Ueber wissenschaftliche Anwendung der Photographie und Stereoskopie.* Wien. Ber. LIV. 2. S. 123—126.

7331. C. Maxwell. *On a real image stereoscope.* Athenäum. 2. S. 337.

7332. G. Th. Ruete. *Das Stereoskop.* 2. Aufl. Leipzig.

7333. Serré d'Uzès. *Recherches expérimentales sur la vision binoculaire.* Gaz. des Hôpit. No. 72. S. 286.

7334. J. Towne. *Contributions to the physiology of binocular vision.* Proc. of the roy. soc. of London. XV. S. 424.

1868.

7335. H. Helmholtz. *De la production de la sensation du relief dans l'acte de la vision binoculaire.* Compt. Rend. du Congr. intern. d'Ophthalm. Paris. S. 53—58. — Zehender's Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. V. S. 270—271.

7336. J. Martius-Matzdorff. *Die interessanten Erscheinungen der Stereoskopie.* Berlin.

7337. Rollmann. *Pseudoskopische Erscheinungen.* Pogg. Ann. CXXXIV. S. 615—618.

7338. R. Staudigl. *Grundzüge der Reliefperspective.* Wien.

1869.

7339. J. Le Conte. *On some phenomena of binocular vision.* Philos. Mag. (4.) XXXVII. S. 131—140. XXXVIII. S. 179—204. Sill. Journ. (2.) XLVII. S. 68—77. S. 153 bis 178. Americ. Journ. of sc. XLVII. No. 140. S. 153.

7340. J. B. Listing. *Ueber eine neue Art stereoskopischer Wahrnehmung.* Gött. Nachr. No. 21. S. 431—455. Klin. Monatsbl. S. 29.

7341. Sylvester. *Sur une représentation stéréoscopique de l'eikosiheptagramme cubique de Mr. le professeur Chr. Wiener.* Mondes. (2.) XXI. S. 412.

1870.

7342. F. Kohlrausch. *Ueber eine durch die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes hervorgebrachte stereoskopische Wirkung.* Gött. Nachr. S. 415—416. — Pogg. Ann. Bd. 143. S. 144—147.

7343. J. B. Listing. *Ueber eine neue Art stereoskopischer Wahrnehmung.* Pogg. Ann. CXLI. S. 225—245.

7344. C. G. Th. Ruete. *20 stereoskopische Bilder.* Leipzig.

7345. J. Towne. *Contributions the physiology of binocular vision.* Guy's Hosp. Rep. XV. S. 180—214. Med. Centralbl. S. 118.

1871.

7346. H. Dor. *Das Stereoskop und das stereoskopische Sehen.* Basel.

7347. C. F. Hennes. *Contribution to the subject of binocular vision.* Frankl. Journ. LXII. S. 263. Mech. Mag. XXVI. S. 393 u. 470.

7348. J. le Conte. *On binocular vision.* Sill. Journ. (3.) I. S. 33—44. II. S. 1—10. S. 317—323 u. 417—426.

7349. — *Sur les images d'illusion et sur la théorie du relief binoculaire.* Arch. sc. phys. (2.) XLI. S. 394—422.

7350. J. J. Müller. *Ueber den Einfluſs der Raddrehung der Augen auf die Wahrnehmung der Tiefendimension.* Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 6. Mai. 2/3. S. 125 bis 134.

7351. E. Sang. *Experiments and observations on binocular vision.* Proc. of the roy. soc. of Edinb. VII. S. 133.

1872.

7352. F. C. Donders. *De stereoskopische combinatie na operatie van scheelzien, en argument tegen de empiristische theorie.* Onderzoek. ged. het Physiol. Lab. d. Utrecht'sche Hoogeschool. Derde Reeks. I. S. 83.

7353. H. Dor. *Quelques mots sur la vision binoculaire.* Arch. des sc. Mars. (2.) XLVIII. S. 61—95.

7354. Tait. *Expériences et observations sur la vision binoculaire.* Mondes. (2.) XXVIII. S. 434.

1873.

7355. G. Fritsch. *Ueber das stereoskopische Sehen im Mikroskop und Herstellung stereoskopischer Mikrotypien auf photographischem Wege.* Festschr. d. Ges. d. naturf. Freunde zu Berlin.

7356. J. Hoppe. *Das stereoskopische Sehen.* Basel. 89 S.

7357. Kramer. *Ueber die Entstehung der räumlichen Tiefenwahrnehmung.* Progr. d. Gymn. zu Schleusingen. 1872/73.

7358. van der Meulen. *Stereoskopie bei unvollkommenem Sehvermögen.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 100—136.

1874.

7359. Böttcher. *Zur Theorie und Construction stereoskopischer Instrumente für wissenschaftliche Diagnostik.* Arch. f. Ophthalm. XX. 2. S. 182.

7360. J. Artha v. Hasner. *Die Tiefenempfindung der Coordinatenverwandlung.* Prag. Vierteljahrsschr. S. 123.

7361. J. Hoppe. *Das stereoskopische Anschauen der beiden Hälften einer durchschnittenen stereoskopischen Photographie unter Auseinanderrücken oder Zusammenschieben dieser beiden Hälften.* Memorab. XIX. S. 149—158.

7362. — *Ueber den Einfluſs des Augenconvergenzgrades auf die scheinbare Gröſse und Entfernung der Gegenstände; der Meyer'sche Versuch.* Deutsch. Klin. No. 32—37.

1875.

7363. M. Devic. *Ein optisches Phänomen.* Pogg. Ann. Bd. 156. S. 336. Compt. Rend. Bd. 79. S. 96.

7364. E. Dreher. *Zur Theorie des Sehens.* Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 417—427.

7365. H. Emsmann. *Zum binocularen Sehen.* Pogg. Ann. CLVI. S. 307—312.

7366. Giraud-Teulon. *Sur une nouvelle méthode et sur un nouvel instrument de télémétrie (mesure rapide des distances).* Compt. Rend. LXXX. S. 1379.

7367. J. le Conte. *On some phenomena of binocular vision.* Americ. Journ. of Sc. a. Arts. (3.) IX. No. 51. S. 159—171.

7368. A. Righi. *Sulla visione stereoscopica.* Nuovo Cimento. 2. XIV. S. 55—1C3.

1876.

7369. Dönhoff. *Beiträge zur Physiologie. III. Instinctmäſsiges Tiefensehen.* Reichert u. du Bois-Reymond's Archiv. S. 238—240.

7370. G. F. Hetsch. *Anleitung zum Studium der Perspective und deren Anwendung.* Nach dem Dänischen bearbeitet von J. Scholz. Leipzig, Weigel. 133 S.

7371. J. Hirschberg. *Optische Notizen.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Jahrg. 1876. S. 622 bis 629.

7372. Th. Hugel. *Die Stereoskopie gestützt auf orthogonale Coordinaten.* Zeitschr. f. d. ges. Naturwiss. (2.) XIV. S. 270.

7373. Steinhauser. *Stereoskopische Wandtafeln.* Carl's Rep. XII. S. 389—392.

1877.

7374. Trappe. *Eine optische Täuschung.* Wiedem. Ann. II. S. 141—144.

1878.

7375. H. Helmholtz. *Ueber die Bedeutung der Convergenzstellung der Augen für die Beurtheilung des Abstandes binocular gesehener Gegenstände.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. S. 322—324. — Verhandl. d. Berl. physiol. Ges. 1877—1878. No. 11. S. 57—59.

7376. W. Schön. *Zur Lehre vom binocularen Sehen.* Arch. f. Ophthalm. XXIV. 1. S. 27—130 u. 4. S. 47—116.

7377. Steinhauser. *Die mathematischen Beziehungen zwischen dem Stereoskope und den zu demselben gehörigen Bildern.* Carl's Repertorium f. Experimentalphysik. XIII. S. 433.

1880.

7378. J. le Conte *On some phenomena of binocular vision: laws of ocular motion.* New Haven.

1881.

7379. J. le Conte. *Some phenomena of binocular vision.* Sill. Journ. XX. S. 83—93.
7380. H. Helmholtz. *Note on stereoscopic vision.* Philos. Mag. (5.) XI. S. 507—508.
7381. E. Landolt. *Un télémètre.* Ann. d'Oculist. Bd. 85. S. 77—83
7382. — *Une modification de mon télémètre.* Arch. d'ophthalm. I. 3. S. 212—220.
7383. W. le Conte Stevens. *The stereoscope and vision by optic divergence.* Sill. Journ. (3.) XXI. 132. S. 443—456. XXII. S. 358—362.
7384. — *On Wheatstone's and Brewster's theory of binocular perspective.* Philos. Mag. (5.) XII. S. 436—444.

1882.

7385. J. Bielefeld. *Das stereoskopische Sehen nach Schieloperationen.* Diss. Würzburg.
7386. W. le Conte Stevens. *A new form of reversible stereoscope.* Americ. Journ. of Sc. No. 135. S. 226.
7387. — *Notes on physiological optics.* Phil. Mag. (5.) XIV. S. 312.
7388. — *Notes on physiological optics.* No. 3: *Theory of associated muscular action. — Relation between different elements of binocular perspective. — A new mode of Stereoscopy.* Amer. Journ. of Sc. Vol. XXIII. S. 290—302.
7389. — *Notes on physiological optics.* No. 4: *Voluntary control of focal accommodation. — Effect of muscular effort on retinal sensitiveness. — Relation of axial adjustement to focal accommodation etc.* Sill. Journ. XXIII. S. 346.
7390. — *Notes on physiological optics.* No. 5: *Vision by the light of the electric spark.* Amer. Journ. of Sc. Vol. XXIV.

1883.

7391. T. W. Backhouse. *Physiological optics.* Amer. Journ. Sc. (3.) XXVI. S. 305.
7392. R. Berlin. *Ueber Tiefenwahrnehmung bei Thieren mit Demonstration eines Apparates.* Ber. über d. 15. Vers. d. Heidelb. ophthalm. Ges. S. 181.
7393. Burmester. *Grundzüge der Reliefperspective.* Leipzig. Mit 3 Taf.

1884.

7394. Govi. *Intorno a una deformazione prospettica delle imagine vedute nei cannocchiale.* Compt. Rend. XCIX. S. 480.
7395. Heuse. *Eine stereoskopische Erscheinung in der rotirenden Bildertrommel.* Arch. f. Ophthalm. XXX. (1.) S. 159.
7396. J. Oughton. *The secondary nature of binocular relief.* Lancet. Juli. S. 13 u. 58.

1885.

7397. L. Cazes. *De l'obtention par la photographie des épreuves stéréoscopiques à perspective exacte.* Journ. de phys. (2.) IV. S. 314—316.
7398. F. C. Donders. *Ueber Stereoskopie durch Farbendifferenz.* Ber. d. 18. Vers. d. ophthalm. Ges. S. 82 u. 86.
7399. W. Einthoven. *Stereoskopie durch Farbendifferenz.* Graefe's Arch. XXXI. (3.) S. 211—238. Arch. Néerl. Sc. exact. et nat. XX. S. 361—367.
7400. Ewald. *Demonstration eines Stereoskops.* Tagebl. d. 58. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Strafsburg. S. 215.

1886.

7401. R. Ancke. *Stereoskopenbilder.* Tagebl. d. 59. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 222.
7402. W. Einthoven. *Stereoscopie door kleurverschil.* Nederl. Gasth. voor Ooglijders. 27. Versl. Bybladen. S. 1. — Sep. Utrecht.
7403. Stroh. *On a new form of Stereoscope.* Proc. of the Roy. Soc. of London. XL. S. 317.

1887.

7404. W. W. Anderson. *Stereoscopic vision.* Science. IX. S. 56.
7405. J. le Conte. *Some peculiarities of the phantom images formed by binocular combination of regular figures.* Sill. Journ. XXXIV. S. 97.
7406. W. Kroll. *Stereoskopische Bilder.* (25 Tafeln.) Hamburg u. Leipzig, L. Voss.
7407. Sous. *Vision binoculaire et réfraction.* Rev. clin. d'ocul. No. 10.
7408. W. le Conte Stevens. *Stereoscopic vision.* Science. IX. S. 14.

1888.

7409. R. W. Doyne. *A new stereoscope.* Ophthalm. Rev. S. 65.
7410. Th. Grossmann. *Stereoscopy by difference of colours, for normal and colour-blind eyes.* Ophthalm. Rev. S. 346.
7411. E. Javal. *Le stéréoscope et le strabisme.* Arch. d'Ophth. VIII. S. 244.
7412. W. Kroll. *Stereoskopische Bilder.* 25 Tafeln. 2. Aufl. Hamburg u. Leipzig, L. Voss.

1889.

7413. R. Berlin. *Ueber die Schätzung der Entfernungen bei Thieren.* Festschr. d. kgl. Thierarzneisch. zu Stuttgart zum 25. Reg.-Jub. Sr. Maj. d. K. v. Württemberg. Stuttgart. 59 S.
7414. Green. *Stereoscopic illusions provoked by the use of unequal glasses before the two eyes.* Ophthalm. Rev. Octbr.
7415. — *On certain stereoscopic illusions booked by prismatic and cylindrical spectacle glasses.* Transact. of the americ. ophthalm. soc. 25. meeting. New-London. S. 449—456.
7416. J. A. Lippincott. *On the binocular metamorphopsia produced by correcting glasses.* Arch. of Ophthalm. S. 18.
7417. J. Martius-Matzdorff. *Die interessantesten Erscheinungen der Stereoskopie.* In 36 Figg. u. 6 Holzschn. 2. Aufl. Berlin, Winckelmann.

1890.

7418. H. Aubert. *Das binoculare Perimikroskop.* Pflüg. Arch. Bd. 47. S. 341—346.
7419. V. Basevi. *De la vision stéréoscopique dans ses rapports avec l'accommodation et les couleurs.* Ann. d'Oculist. CIII. S. 222.
7420. Berry. *Note on a stereoscopic effect and its application.* Ophthalm. Rev. No. 102.
7421. Burckhardt. *Ueber einen seltenen Fall von Störung des binocularen Sehacts.* Münch. med. Wochenschr. No. 10.
7422. E. Javal. *De la stéréoscopie dans le traitement du strabisme.* Rec. d'Ophthalm. Febr.
7423. J. A. Lippincott. *New tests for binocular vision.* Amer. Journ. of Ophthalm. Vol. VII. No. 8. S. 247.

1891.

7424. R. Berlin. *Ueber die Schätzung der Entfernungen bei Thieren.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 1—24.
7425. T. F. Bliss. *A curions case of vision dependent upon the use of both eyes.* Med. Rec. 4. Juli.
7426. C. du Bois-Reymond. *Ueber Brücke's Theorie des körperlichen Sehens.* Zeitschr. f. Psychol. II. S. 427—437.
7427. C. Dahlfeld. *Bilder für stereoskopische Uebungen zum Gebrauche für Schielende.* 20 lithogr. Taf. F. Enke, Stuttgart.
7428. R. Greeff. *Untersuchungen über binoculares Sehen mit Anwendung des Hering-schen Fallversuches.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 21—47.
7429. J. A. Lippincott. *Ueber die durch corrigirende Gläser hervorgerufene binoculare Metamorphopsie.* Arch. f. Augenheilkde. XXIII. S. 96—108.

1892.

7430. A. Righi. *Sulla teoria dello stereoscopio.* Il Nuovo Cimento. (3.) XXXI. 5/6. S. 255.

1893.

7431. H. Friedenwald. *Ueber die durch corrigirende Gläser hervorgerufene binoculare Metamorphopsie.* Arch. f. Augenheilkde. XXVI. S. 362—370.
7432. A. D. Mansfield. *The retention of binocular vision with two glasses of different strengths.* Ann. of Ophthalm. and Otol. II. No. 1.
7433. M. Pickert. *Untersuchungen über den Hering'schen Fallversuch.* Diss. Göttingen 28 S.
7434. Vignes. *Dispositif pour faciliter les expériences stéréoscopiques.* Rec. d'ophthalm S. 275.

1894.

7435. H. Münsterberg. *Studies from the Harvard Psychol. Lab. A stereoscope without mirrors or prisms.* Psychol. Rev. I.
7436. H. Parinaud. *Stéréoscopie. Modèle de stéréoscope clinique.* Ann. d'Oculist. CXI. S. 406
7437. F. Stolze. *Die Stereoskopie und das Stereoskop in Theorie und Praxis.* Halle.

§ 31.

Das binoculare Doppeltsehen.

113.

7438. Galenus. *De usu partium.* Lib. X. Cap. 12.

1593.

7439. J. B. Porta. *De refractione.* S. 142.

1611.

7440. Keppler. *Dioptrice.* Propos. LXII.

1613.

7441. F. Aguilonius. *Opticorum libri VI.* Antwerpen.

1658.

7442. Gassendi *Opera.* Vol. II. S. 395.

1669.

7443. Tacquet. *Opera mathematica.*

1671.

7444. Rohault. *Traité de physique.* Paris 1671 u. 1682. Part. I. Cap. 31.

1704.

7445. J. Newton. *Optice.* Quaestio XXV.

1743.

7446. Du Tour. *Act.* Paris. S. 334.

1759.

7447. Porterfield. *On the eye.* II. S. 285.

1760.

7448. Du Tour. *Pourquoi un objet sur lequel nous fixons les yeux, paroit-il unique?* Mém. des savants étrangers. III. S. 514. IV. S. 499. V. S. 677.

1818.

7449. G. U. A. Vieth. *Ueber die Richtung der Augen.* Gilbert's Ann. LVIII. S. 233.

7450. W. C. Wells. *Upon single vision with two eyes.* London.

1824.

7451. W. H. Wollaston. *On the semi-decussation of the optic nerves.* Philos. Transact. I. S. 222. Edinb. Philos. Journ. XXII. S. 420. Ann. of Philos. April. S. 306.

1826.

7452. Joh. Müller. *Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig.

1827.

7453. Tourtual. *Die Sinne des Menschen.* S. 234.

1833.

7454. C. Wheatstone. *On some remarkable and hitherto unobserved phenomena of binocular vision.* Phil. Transact. P. II. S. 384—385.

1839.

7455. F. G. Ender. *De horoptere et strabismo.* Diss. Berlin.

1840.

7456. Joh. Müller. *Handbuch der Physiologie des Menschen.* Coblenz. Bd. II. S. 376—387.

1841.

7457. E. Brücke. *Ueber die stereoskopischen Erscheinungen.* J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 459.

7458. H. W. Dove. Berl. Monatsb. 29. Juli.

1843.

7459. A. P. Prévost. *Essai sur la théorie de la vision binoculaire.* Genève. Pogg. Ann. LXII. S. 548.

1844.

7460. D. Brewster. *Law of visible position in single and binocular vision.* Edinb. Philos. Trans. XV.

1846.

7461. van Deurs. *Doppeltsehen und Schielen.* Oppenheim's Zeitschr. Th. XXXII.

1848.

7462. Sichel. *Sur une espèce de diplopie binoculaire musculaire non encore décrite.* Ann. d'ocul. XIX.

1849.

7463. Locke. *On single and double vision.* Philos. Mag. XXXIV. S. 195. Sill. Journ. VII. S. 68.
7464. Lathrop. *Results additional to those offered by Dr. Locke.* Sill. Journ. VII. S. 343.

1852.

7465. A. Müller. *Ueber das Beschauen der Landschaften mit normaler und abgeänderter Augenstellung.* Pogg. Ann. LXXXVI. S. 147—152. Cosmos. I. S. 336.
7466. D. Brewster. *Sur la vision binoculaire et le stéréoscope.* North Brit. Rev. 1855. May. Cosmos. I. S. 422—425, 450—453.

1854.

7467. A. v. Graefe. *Ueber Doppeltsehen nach Schieloperationen und Incongruenz der Netzhäute.* Arch. f. Ophthalm. I. 1. S. 82—120.
7468. F. Burckhardt. *Ueber Binocularsehen.* Verh. d. naturf. Ges. in Basel. I. S. 123 bis 154.
7469. G. Meissner. *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans.* Leipzig.
7470. J. Czermak. *Zur Lehre von den Doppelbildern, die beim Sehen mit beiden Augen entstehen.* Wien. Ber. Bd. XII. S. 357.

1855.

7471. A. v. Graefe. *Ueber eigenthümliche noch unerklärliche Anomalien in der Projection der Netzhautbilder.* Arch. f. Ophthalm. I. (2.) S. 284.
7472. J. Czermak. *Zur Lehre von den Doppelbildern, die beim Sehen mit beiden Augen entstehen.* Wien. Ber. Bd. XV. S. 448.
7473. H. Emsmann. *Ueber Doppeltsehen.* Pogg. Ann. XCVI. S. 588—602.
7474. W. B. Rogers. *Observations on binocular vision.* Sill. Journ. (2). XX. S. 86—98; 204—220; 318—335. XXI. 80—95; 173—189; 439. Cosmos. VIII. S. 229—230. Arch. des sc. phys. XXX. S. 247—249. Edinb. Journ. (2). III. S. 210—217.

1856.

7475. D. Brewster. *On Mr. Rogers theory of binocular vision.* Proc. of Edinb. Soc. III. S. 356—358.

1857.

7476. Giraud-Teulon. *Note sur le mécanisme de la production du relief dans la vision binoculaire.* Compt. Rend. XLV. S. 566—569. Inst. S. 345—346. Cosmos. XI S. 459—461; 490—492; 495.
7477. D. Brewster. *The stereoscope.* London.

1858.

7478. E. Claparède. *Quelques mots sur la vision binoculaire et sur la question de l'Horoptre.* Arch. d. sc. phys. (2.) III. S. 138—168. III. S. 225—267. III. S. 362—368.
7479. — *Sur une nouvelle détermination de l'horoptère.* Compt. Rend. 1858. S. 566.
7480. P. L. Panum. *Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen.* Kiel

1859.

7481. A. P. Prévost. *Note sur la vision binoculaire.* Arch. d. sc. phys. (2.) IV. S. 105—111.
7482. E. Claparède. *Remarques sur la note précédente.* Arch. d. sc. phys. S. 112.
7483. — *Beitrag zur Kenntnifs des Horopters.* Müller's Arch. S. 384.
7484. J. v. Hasner. *Ueber das Binocularsehen.* Prag. Ber. 1829. S. 10. Abh. d. Kgl. Böhm. Ges. (5.) X. S. 25—34.
7485. A. W. Volkmann. *Das Tachistoskop, ein Instrument, welches bei Untersuchung des momentanen Sehens den Gebrauch des electrischen Funkens ersetzt.* Leipziger Ber. S. 90—98.
7486. — *Die stereoskopischen Erscheinungen in ihrer Beziehung zu der Lehre von den identischen Netzhautstellen.* Arch. f. Ophthalm. V. 2. S. 1—100.
7487. A. Graefe. *Beitrag zu der Lehre über den Einflufs der Erregung nicht identischer Netzhautpunkte auf die Stellung der Sehaxen.* Arch. f. Ophthalm. V. (1.) S. 128 bis 132.

7488. F. v. Recklinghausen. *Netzhautfunctionen.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 127 bis 179. Pogg. Ann. CX. S. 65—92.

7489. L. Gemündt. *Ueber das binoculare Doppeltsehen.* Würzburg.

1860.

7490. F. August. *Ueber eine neue Art stereoskopischer Erscheinungen.* Pogg. Ann. CX. S. 582—593. Phil. Mag. (4.) XX. S. 329—336. Ann. de chim. (3.) LX. S. 506—509.

7491. W. Rogers. *Some experiments and inferences in regard to binocular vision.* Edinb. Journ. (2.) XII. S. 285—287. Sill. Journ. (2.) XXX. S. 387—390; 404—409. Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 17—18.

7492. H. W. Dove. *Ueber Stereoskopie (gegen v. Recklinghausens Zweifel betreffs der electrischen Beleuchtung stereoskopischer Bilder).* Pogg. Ann. CX. S. 494—498.

7493. F. Giraud-Teulon. *De l'unité de jugement ou de sensation dans l'acte de la vision binoculaire.* Compt. Rend. LI. S. 17—20. Cosmos. XVII. S. 24—27. Inst. S. 217.

7494. — *De l'influence sur la fonction visuelle binoculaire des verres de lunettes convexes et concaves.* Paris.

7495. T. Hayden. *Sulla funzione della macchia gialla del Sömmering nel produrre l'unità della percezione visuale nella visione binoculare.* Cimento. XI. S. 255—257.

1861.

7496. A. Nagel. *Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen.* Leipzig u. Heidelberg. S. 1—184. Verh. d. naturh. Ver. d. Rheinl. XVII. Sitzgs.-Ber. S. 9—12.

7497. F. v. Recklinghausen. *Zum körperlichen Sehen.* Pogg. Ann. CXIV. S. 170 bis 173. (Die Wirkung instantaner Beleuchtung betreffend.)

7498. W. Wundt. *Ueber das Sehen mit zwei Augen.* Henle u. Pfeuffer. (3.) XII. S. 145—262.

7499. P. L. Panum. *Ueber die einheitliche Verschmelzung verschiedenartiger Netzhauteindrücke beim Sehen mit zwei Augen.* Reichert's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 63 bis 111; 178—227.

7500. F. Burckhardt. *Die Empfindlichkeit des Augenpaars für Doppelbilder.* Pogg. Ann. CXII. S. 596—606. Verh. d. naturh. Ges. in Basel. III. S. 33—44.

7501. O. N. Rood. *On the relation between our perception of distance and colour.* Sill. Journ. XXXII. S. 184—185.

1862.

502. H. Helmholtz. *Ueber die Form des Horopters, mathematisch bestimmt.* Verhandl. d. naturhist. med. Ver. zu Heidelberg. Bd. III. S. 51—55.

503. Bahr. *Ueber die Nichtexistenz identischer Netzhautstellen.* Arch. f. Ophthalm. VIII. (2.) S. 179—184.

504. A. Nagel. *Ueber die ungleiche Entfernung von Doppelbildern, welche in verschiedener Höhe gesehen werden.* Arch. f. Ophthalm. VIII. (2.) S. 368—387.

505. E. Hering. *Beiträge zur Physiologie.* 2. bis 5. Heft. Leipzig. 1862—1864.

506. W. Wundt. *Ueber binoculares Sehen.* Pogg. Ann. Bd. 116. S. 617.

1863.

507. L. Hermann. *Notiz über die Gestalt der Horopterfläche bei convergenten Secundärstellungen.* Centralbl. f. med. Wiss. No. 51.

508. J. Towne. *The stereoscope and stereoscopic results.* Guy's Hosp. Rep. 1862 bis 1865.

509. F. C. Donders. *Die Refractionsanomalien des Auges und ihre Folgen.* Arch. f. d. holländ. Beitr. III. S. 358. Pogg. Ann. CXX. S. 452.

10. A. W. Volkmann. *Vorläufige Mittheilung über den Horopter und die Axendrehung des Auges.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 51.

11. — *Ueber identische Netzhautstellen.* Berl. Monatsber. August. (Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane.)

12. H. Helmholtz. *Ueber die normalen Bewegungen des menschlichen Auges.* Arch. f. Ophthalm. IX. (2.) S. 188—190. (Dieselbe Abweichung beschrieben.)

13. E. Hering. *Ueber W. Wundt's Theorie des binocularen Sehens.* Pogg. Ann. CXIX. S. 115.

14. W. Wundt. *Ueber Dr. E. Hering's Kritik meiner Theorie des Binocularsehens.* Pogg. Ann. CXX. S. 172.

7515. E. Javal. *Note sur un moyen nouveau de choisir les verres prismatiques pou le strabisme.* Ann. d'Ocul. L. S. 316.

1864.

7516. E. Hering. *Das Gesetz der identischen Sehrichtungen.* Reichert u. du Bois-Reymond Arch. S. 27.

7517. — *Bemerkungen zu Volkmann's neuen Untersuchungen über das Binocularsehe* Reichert u. du Bois-Reymond's Arch. S. 303.

7518. — *Zur Kritik der Wundt'schen Theorie des binocularen Sehens.* Pogg. Ann. Bd. 12 S. 476.

7519. W. v. Bezold. *Zur Lehre vom binocularen Sehen.* Sitzgs-Ber. d. Kgl. Baye Akad. Math. phys. Kl. 10. Decbr.

7520. Hankel. *Mathematische Bestimmung des Horopters.* Pogg. Ann. Bd. 122. S. 57

7521. H. Helmholtz. *Ueber den Horopter.* Arch. f. Ophthalm. X. S. 1—60.

7522. — *Ueber den Horopter.* Heidelb. Jahrb. f. 1864. S. 340—342.

7523. — *Bemerkungen über die Form des Horopters.* Pogg. Ann. CXXIII. S. 158—16

7524. — *On the normal motions of the human eye in relation to binocular vision.* Pro of London. Roy. Soc. Vol. XIII. S. 186—199.

1865.

7525. D. Brewster. *On Hemiopia or half-vision.* Philos. Mag. (4.) XXIX. S. 506—507. - Edinb. Trans. XXIV. S. 15—18.

7526. H. Aubert. *Physiologie der Netzhaut.* S. 280—331.

7527. E. Hering. *Die Gesetze der binocularen Tiefenwahrnehmung.* Reichert u. du Boi Reymond's Arch. S. 79.

7528. A. Graefe. *Ueber einige Verhältnisse des Binocularsehens bei Schielenden m Beziehung auf die Lehre von der Identität der Netzhäute.* Arch. f. Ophthalm. XI. (2 S. 1—46.

7529. W. v. Bezold. *Zur Lehre von den identischen Netzhautpunkten.* Zeitschr. f. Bic I. S. 170—179.

7530. Dastich. *Ueber das Zustandekommen der räumlichen Gesichtsanschauung unter B rücksichtigung der physiologischen Mitbedingungen.* Kgl. böhm. Ges. d. Wiss. Philo Sect. 6. Nov.

7531. — *Ueber die neueren physiologisch-psychologischen Forschungen im Gebiete d menschlichen Sinne.* Abh. d. Böhm. Ges. (5.). XIII. S. 48—64.

7532. E. Hering. *Gegenbemerkung über die Form des Horopters.* Pogg. Ann. Bd. 124. S. 63

1866.

7533. Böttcher. *Ueber Augenbewegungen und binoculare Perspective.* Arch. f. Ophthaln XII. (2) S. 22—99.

7534. G. B. W. Goedicke. *De perturbationibus visus binocularis.* Berlin.

1868.

7535. E. Hering. *Die Lehre vom binocularen Sehen.* Leipzig. (Erste Liefer.)

7536. — *Bemerkung zu der Abhandlung von Donders über das binoculare Sehen.* Arcl f. Ophthalm. XIV. (1.) S. 1.

7537. C. Schweigger. *Das Gesetz der identischen Netzhautpunkte und die Lehre vom Schiele* Verh. d. Berl. med. Ges. i. d. J. 1867/68. S. 1—13 u. 18—19.

1869.

7538. H. Kaiser. *Der Modus des Binocularsehens.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkd I. S. 130.

7539. — *Zur Lehre vom Horopter.* Arch. f. Ophthalm. XV. (1.) S. 75—128.

1870.

7540. A. Classen. *Ueber Widerwillen gegen Einfachsehen nach der Operation des Strabism internus. Ein Beitrag zur Theorie der identischen Netzhautstellen.* Graefe's Arcl XVI. (1.) S. 123.

7541. J. Towne. *Contributions to the physiology of binocular vision.* Guy's Hosp. Re Vol. XV. S. 180—214.

7542. M. Woinow. *Ueber das Verhalten der Doppelbilder bei Augenmuskellähmungen.* Wie

7543. — *Beiträge zur Lehre vom binocularen Sehen.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1 S. 200—211.

1871.

7544. J. Le Conte. *On some phenomena of binocular vision.* Americ. journ. of Scien and Arts. (3.) I. S. 33—34. II. S. 1—10, 315—323, 417—426.

7545. Cuignet. *De la vision chez le tout jeune enfant.* Ann. d'Ocul. LXVI. S. 117—126.
7546. F. C. Donders. *Zur Theorie der correspondirenden Netzhautpunkte.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 471.
7547. E. Javal. *Du strabisme.* Ann. d'Oculist. LXV. S. 97—112.
7548. R. Pictet. *Sur la vision binoculaire.* Arch. d. sc. phys. (2.) XL. S. 105—152. Bibl. univ. de Genève Arch. T. 40. S. 105.
7549. Sang. *Experiments and observations on binocular vision.* Proc. of the Roy. Soc. of Edinburgh. VII. S. 433.

1872.

7550. J. le Conte. *Sur la transparence des images doubles.* Arch. d. sc. phys. (2.) XLV. S. 229—232.
7551. — *On some phenomena of binocular vision.* Americ. Journ. of Science and Arts Ser. II. Vol. 47. Ser. III. Vol. 1. 2.
7552. F. C. Donders. *De stereoskopische combinatie, na operatie van scheelzien, een argument tegen de empiristische theorie.* Onderz. ged. in het physiol. Lab. d. Utrecht'sche Hoogeschool. III. Reeks I. S. 83—91.
7553. Dor. *Quelques mots sur la vision binoculaire en réponse aux articles de Mm. Raoul Pictet et Joseph Le Conte.* Arch. d. Scienc. de la bibl. univ. May. 22 pp.
7554. L. Mandelstamm. *Beitrag zur Lehre von der Lage correspondirender Netzhautpunkte.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (2.) S. 133—141.
7555. R. Pictet. *Expériences et observations sur la vision binoculaire.* Mém. de St. Petersb. XVII. No. 11. S. 1—79.

1873.

7556. A. Genzmer. *Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen des neugeborenen Menschen.* Inaug.-Diss. Halle.
7557. v. Hasner. *Beiträge zur Physiologie und Pathologie des Auges.* Sinnenleben und Sehen. S. 1—15.
7558. — *Die reciproken Netzhäute und das Tiefensehen.* S. 40—57.
7559. J. Jago. *Visible direction: being an elementary contribution to the study of monocular and binocular vision.* Proc. of the Roy. Soc. March 13. — Phil. Mag. XLVI. S. 80—84.
7560. Krenchel. *Ueber die krankhaft herabgesetzte Fusionsbreite als Ursache des Schielens.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 144—155.
7561. H. Schöler. *Zur Identitätsfrage. 1. Grenzen der Correspondenz beider Sehfelder. 2. Messung der Disparität an Schielenden und Entdeckung neuer Schielformen.* Graefe's Arch. XIX. (1.) S. 1—55.

1874.

7562. E. Landolt. *Le Chiastomètre.* Ann. d'Ocul. S. 3. — Klin. Monatsbl. XI. S. 470.
7563. F. D. A. van Moll. *Over de normale incongruentie der netvliezen.* Vijftiende Versl. betr. het nederl. gasth. voor oogl. Utrecht. S. 79—121.

1875.

7564. J. Le Conte. *On some phenomena of binocular vision.* Americ. Journ. of Science and Arts. 3. ser. Vol. IX. S. 159—171.
7565. F. C. Donders. *Die correspondirenden Netzhautmeridiane und die symmetrischen Rollbewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XXI. 3. S. 100.
7566. — *De corresponderende netvlies-meridianen en de symmetrische rolbewegingen.* Onderzoek. ged. in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. Derde R. III. 2. S. 45.
7567. Emsmann. *Zum binocularen Sehen.* Pogg. Ann. Bd. 156. S. 307—312.
7568. A. Graefe. *Motilitätsstörungen des Auges.* Graefe-Sämisch, Handbuch d. ges. Augenheilkde. Bd. VI. Cap. 9. Leipzig.
7569. F. D. A. van Moll. *Over de normale incongruentie der netvliezen.* Onderzoek. ged. in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. Derde R. III. S. 39.
7570. H. Schöler. *Zur Behandlung Schielender (Einübung des binocularen Einfachsehens)* Allg. med. Centralztg. S. 842—844.

1876.

7571. W. v. Bezold. *Beiträge zur Geschichte der physiologischen Optik (Farbenkreisel und binoculares Sehen).* Pogg. Ann. Ergänzungsbd. VIII. S. 510—515.
7572. J. Hirschberg. *Notiz zur Theorie des Sehens.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXII. (4.) S. 118—125.

7573. W. Schön. *Zur Lehre vom binocularen indirecten Sehen. I.* Graefe's Arch. f. Ophthalm Bd. XXII. 4. S. 31—62.
7574. Überhorst. *Die Entstehung der Gesichtswahrnehmung.* Göttingen.

1877.

7575. H. Culbertson. *On a modified mode of detecting paralysis of the ocular muscles.* Americ. Journ. of the med. Scienc. Jan.
7576. Féréol. *Association synergique des deux yeux persistant malgré la paralysie de la sixième paire d'un coté.* Gaz. des hôp. No. 90, 93, 98.
7577. Jaesche. *Ueber das binoculare Sehfeld.* Dorpat. Med. Zeitschr. VI. S. 354.

1878.

7578. J. v. Kries. *Wettstreit der Sehrichtungen beim Divergenzschielen.* Arch. f. Ophthalm. XXIV. (4.) S. 117—138.
7579. W. Schön. *Zur Lehre vom binocularen Sehen. II.* Arch. f. Ophthalm. XXIV. (1.) S. 27 u. (4.) S. 47.
7580. Schwahn. *Ueber das Schielen nach Verletzungen in der Umgebung des kleinen Gehirns.* Eckardt's Beitr. z. Anat. u. Physiol. VIII. (3.) S. 149.
7581. J. G. Vogt. *Physiologisch-optisches Experiment, die Identität correspondirender Netzhautstellen, die mechanische Umkehrung der Netzhautbilder etc. endgültig erweisend.* Leipzig.

1879.

7582. A. Classen. *Wie orientiren wir uns im Raum durch den Gesichtssinn?* Jena. 45 S. Preyer's Sammlung physiol. Abhandl. II. Heft 5.
7583. E. Hering. *Physiologie des Gesichtssinnes. Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges.* Hermann's Handbuch der Physiol. III. (1.) S. 343.
7584. Jaesche. *Das räumliche Sehen.* Stuttgart. 130 S.
7585. L. Mauthner. *Ueber Incongruenz der Netzhäute.* Wien. med. Wochenschr. No. 11 u. 12, 14 u. 15; auch separat.
7586. Rählmann. *Zur Frage von dem Einfluſs des Bewuſstseins auf die Coordination der Augenbewegungen und das Schielen.* Zehender's klin. Monatsbl. Jan. S. 1—16.
7587. A. Schlesinger. *Ueber das binoculare Sehen der Schielenden vor und nach der Operation.* XX. Jahresvers. d. ungar. Aerzte u. Naturf.
7588. L. Tortière. *Considérations sur la diplopie binoculaire.* Paris.

1880.

7589. Samelsohn. *Ein neuer Fall von Strabismus convergens concomitans intermittens.* Centralbl. f. pract. Augenheilkde. IV. S. 117—119.
7590. H. Schmidt-Rimpler. *Zeitbestimmungen bezüglich der Fusion künstlich erzeugter Doppelbilder.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (1.)
7591. — *Bestimmungen der Zeit, welche zur Prismen-Ueberwindung im Interesse des Einfachsehens durch Schielen erforderlich ist.* Sitzgs.-B. d. Ges. z. Beförd. d. ges. Naturw. z. Marburg. No. 6. August.

1881.

7592. T. Anderson. *A prismatic optometer.* Nature. XXIV. S. 618.
7593. E. v. Fleischl. *Physiologisch-optische Notizen. I.* Wiener Sitzungsber. Bd. 83. 3. Abth. 17. März 1881.
7594. E. Javal. *De la vision binoculaire.* Ann. d'Oculist. Bd. 85. 5/6. S. 217.
7595. J. Le Conte. *Sight, an exposition of the principles of monocular and binocular vision.* N. Y. D. Appleton et Comp. 275 S.
7596. Rählmann. *Ueber die Veränderung der Fusionstendenz bei Veränderung der Blickrichtung und über die Augenstellung in den complicirten Secundärstellungen.* Bericht über die Wirksamkeit der Univers.-Augenklinik zu Dorpat in dem Zeitraum 1879 bis 1881. S. 24.
7597. Oughton. *The theory of corresponding points in single vision.* Lancet. II. No. 27.
7598. Samelsohn. *Darstellung eines Kranken zur Illustration der Frage von der Incongruenz der Netzhäute.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 23.
7599. Schwahn. *Experimenteller Beitrag zur Lehre von den associirten Zwangsstellungen der Augen.* Eckhard's Beitr. z. Physiol. IX. S. 193.
7600. C. Schweigger. *Klinische Untersuchungen über das Schielen.* Berlin, Hirschwald. 152 S.

1882.

7601. A. Högges. *Nervenmechanismus der associirten Augenbewegungen.* I. Theil: *Die Erscheinungen der die Bewegungen des Kopfes und Körpers begleitenden associirten Augenbewegungen bei Säugethieren und beim Menschen.* Mitth. der math.-naturw. Classe der ungar. Acad. d. Wissensch. Budapest 1881. Bd. X. No. 18. S. 32. — II. Theil: *Der Einfluſs einzelner Theile des Nervensystems auf die unwillkürlich associirten Augenbewegungen.* Ebenda. XI. No. 1. S. 1—100. (Ungarisch.)
7602. E. Javal. *Strabisme.* Nouveau Dictionn. de méd. et de chir. prat. XXXIII. S. 698.
7603. Schneller. *Beiträge zur Lehre vom Schielen.* Arch. f. Ophthalm. XXVIII. 2. S. 97.
7604. W. le Conte Stevens. *Notes on physiological optics.* V: *Vision by the light of the electric spark.* Amer. Journ. of Sc. XXIV. Okt.

1883.

7605. E. Landolt. *Sur l'ophthalmo-dynamomètre, présentation d'un instrument construit pour mesurer la convergence et l'accommodation.* Bull. et mém. de la Sc. franç. d'Ophth. S. 25.
7606. Pr. Smith. *A model illustrating conjugate movements of the eyes.* Lancet. II. S. 1092.

1884.

7607. Below. *Ueber die Bedingung des dynamischen Gleichgewichts der Augenmuskeln.* Westnik ophthalmolog. No. 4 u. 5.
7608. Berry. *The determination of the degree of latent and manifest squint in metre angles. — A suggestion.* Ophth. Rev. III. No. 33. S. 193.
7609. Ellaby. *De l'amplitude de convergence.* Thèse de Paris.
7610. Patton. *Notes on the metre angle.* Ophth. Rev. S. 360.
7611. Ulrich. *Der Sehact bei Strabismus convergens concomitans.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 45.
7612. W. v. Zehender. *Ein Vierspiegel-Apparat zur Bestimmung des Convergenzwinkels der Gesichtslinien.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 231.

1885.

7613. A. Graefe. *Beiträge zur Kenntniſs der bei Entwickelung und Hemmung strabotischer Ablenkungen wirksamen Einflüsse mit besonderer Berücksichtigung des Strabismus hyperopicus und der Asthenopia muscularis.* Arch. f. Ophth. XXXII. (2.) S. 223.
7614. J. Hirschberg. *Ueber Messung des Schielgrades.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IX. S. 325.
7615. E. Landolt. *L'amplitude de convergence.* Arch. d'ophthalm. S. 97 u. 173. — Bull. et mém. Soc. franç. d'ophthalm. III. S. 105.
7616. — *Ueber die Insufficienz des Convergenzvermögens.* Ber. über die 17. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 5.
7617. G. Sous. *Instrument du Dr. Zéhender, pour déterminer l'angle de convergence des axes visuels.* Rev. clin. d'ocul. V. S. 94.
7618. Stilling. *Ueber die Entstehung des Schielens.* Arch. f. Augenheilkde. XV. S. 73.

1886.

7619. E. Javal. *La théorie de la vision binoculaire élucidée par un cas de strabisme avec vision triple.* Ann. d'Oculist. Bd. 95. S. 206. — Bull. et mém. de la soc. franç. d'Ophthalm. IV. S. 33.
7620. E. Landolt. *On insufficiency of the power of convergence.* Ophth. Review. S. 185.

1887.

7621. Ch. Ladd-Franklin. *A method for the experimental determination of the horopter.* Americ. Journ. Psychol. I. S. 99.
7622. J. Le Conte. *On some phenomena of binocular vision.* Americ. Journ. of med. sc. New-Haven. S. 97.
7623. E Landolt. *Uebersichtliche Zusammenstellung der Augenbewegungen im physiologischen und pathologischen Zustande.* Deutsch bearbeitet von H. Magnus. Breslau.
7624. J. Larmor. *On the form and position of the horopter.* Proc. Cambr. VI. S. 60—65.
7625. Stöber. *Pouvoir convergent binoculaire et angle métrique.* Semaine médic. No. 39. S. 378.

1888.

7626. A. Graefe. *Die Thätigkeit der geraden inneren Augenmuskeln bei den associirten Seiten- und den accommodativen Convergenzbewegungen der Augen.* Ber. d. 7. intern. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 30.

7627. E. Javal. *Le stéréoscope et le strabisme.* Arch. f. Ophthalm. VIII. S. 244.
7628. E. Landolt. *Proposition sur le numérotage des prismes en ophthalmologie.* Ber. d. 7. intern. Ophth.-Congr. zu Heidelberg. S. 437.
7629. F. v. Martini. *Die Lage der Doppelbilder beim binocularen Sehen.* Mittheil. d. Thurg. naturf. Ges. Heft 8. S. 46.
7630. C. Reymond et J. Stilling. *Des rapports de l'accommodation avec la convergence et de l'origine du strabisme.* Strafsburg, Trübner.
7631. Pr. Smith. *A tape measure for strabismus.* Ophthalm. Rev. S. 349.

1889.

7632. Benzler. *Ein Fall von essentieller Convergenzlähmung.* Deutsche Militärärztliche Zeitschr. No. 7. S. 301.
7633. Crispo. *Notes sur des phénomènes de diplopie d'origine musculaire.* Arch. de Physiol. norm. et pathol. S. 749—750.
7634. A. E. Fick. *Ueber die Faktoren der Sehachsenkonvergenz.* Correspbl. f. Schweiz. Aerzte. 1889. XIX. S. 141.
7635. — *Ueber die Faktoren der Sehachsenkonvergenz. (Discussion.)* Correspondenzbl. f. Schweizer Aerzte. XIX. S. 151.
7636. A. Graefe. *Ueber die Einstellung der Augen bei Unterbrechung des binocularen Sehens.* Mit 1 Holzschn. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. Abth. 1. S. 137 bis 146.
7637. — *Noch einmal „Die Convergenzfactoren".* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. Abth. 4. S. 333—339.
7638. J. H. Hyslop. *On Some Facts of Binocular Vision.* Mind. XIV. S. 392—401.
7639. E. Javal. *Sur le rétablissement de la vision binoculaire chez les strabiques.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (9.) I. S. 596—600.
7640. Kalt. *Importance de la netteté des images rétiniennes pour la conservation de la vision binoculaire.* Compt. Rend. de la soc. de biol. Séance du 12. Octobre. No. 32. S. 591.
7641. E. Landolt. *Antwort auf Prof. Graefe's Artikel: „Ueber die Einstellung der Augen bei Unterbrechung des binocularen Sehens."* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (3.) S. 265—272.
7642. J. Venn. *On Some Facts of Binocular Vision.* Mind. Vol. 14. S. 251—260.

1890.

7643. K. Hirschberger. *Binoculares Gesichtsfeld Schielender.* Münch. med. Wochenschr. No. 10.
7644. E. A. Jackson. *Unit of strength and system for numbering prisms.* Ophthalm. Rev. No. 104. S. 169.
7645. M. L. Jays. *Mesure de la convergence dans la vision binoculaire. — Choix d'une unité de convergence. — Série métrique des prismes usités en oculistique.* Rec. d'Ophthalm. No. 9. S. 522.
7646. L. Kugel. *Ueber Exstinction der Netzhautbilder des schielenden Auges beim doppeläugigen Sehen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (1.) S. 66—128.
7647. E. Landolt. *Die rationelle Nummerirung der in der ophthalmologischen Praxis verwendeten Prismen.* Arch. f. Augenheilkde. XXII. S. 235.
7648. Lippincott. *New tests for binocular vision.* Americ. Journ. of Ophthalm. Vol. VII. No. 8. S. 247.
7649. J. Neumann. *Beitrag zur conjugirten Ablenkung der Augen.* Aus dem Stadtkrankenhause zu Dresden. Berliner klin. Wochenschr. No. 18.
7650. F. Prentice. *Ein metrisches System zur Bezeichnung und Bestimmung von Prismen.* Mit einleitenden Bemerkungen von Swan M. Burnett. Arch. f. Augenheilkde. XXII. S. 215.
7651. Sachs. *Ueber die Ursachen des scheinbaren Näherstehens des unteren von zwei höhendistanten Doppelbildern. Nachtrag: Ueber das Verhalten der Accommodation beim Blicke nach aufwärts und abwärts.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (1.) S. 193—216.
7652. Schneller. *Beiträge zur Theorie des Schielens.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (3.) S. 138.
7653. Tamagno. *Osservazione di paralisi di convergenza.* XII. Congr. dell' Assoc. Oftalm. Italiana. Pisa. — Ann. di Ottalm. XIX.

1891.

7654. A. Graefe. *Ueber Fusionsbewegungen der Augen beim Prismaversuche.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVII. (1.) S. 243—257.

7655. R. Greeff. *Untersuchungen über binoculares Sehen mit Anwendung des Hering'schen Fallversuches.* Zeitschr. f. Psych. III. S. 21.

7656. C. Hess. *Bemerkung zu dem Aufsatze von Schneller „Beiträge zur Theorie des Schielens".* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVII. (1.) S. 258—260.

7657. E. Javal. *De la vision binoculaire dans ses relations avec le strabisme.* Heidelb. Helmholtz-Festschr. S. 32—41.

7658. van Millingen. *Les anomalies de la convergence.* Ann. d'ocul. T. CVI. S. 103.

1892.

7659. L. Ferri. *Schéma de l'action physiologique des muscles de l'oeil et de la diplopie paralytique.* Ann. di Ottalmol. XXI.

7660. Schneller. *Zur Lehre von den dem Zusammensehen mit beiden Augen dienenden Bewegungen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 38. S. 71—117.

7661. M. Tscherning. *La théorie du strabisme de Hansen-Grut.* Ann. de la Policl. de Paris.

1893.

7662. Berry. *The innervation of the oculomotor muscles.* Ophth. Rev. S. 285.

7663. A. B. Friedenwald. *Ueber die durch korrigirende Gläser hervorgerufene binoculare Metamorphopsie.* Arch. f. Augenheilkde. XXVI. S. 362.

7664. Galezowski. *Du diploptomètre et de l'application de cet appareil pour définir la nature et le degré des paralysies oculaires.* Progrès méd. No. 11. S. 202.

7665. E. Jackson. *The rod test with the rotatory variable prism.* Ophthalm. Rev. XII. S. 228.

7666. — *Tests for heterophoria and their comparative value.* Univ. Med. Mag. Philad. S. 454. — Journ. Amer. med. Assoc. Chicago. XXI. S. 690.

7667. F. Hillebrand. *Die Stabilität der Raumwerthe auf der Netzhaut.* Zeitschr. f. Psych. V. S. 1—60.

7668. E. Landolt. *Tableau synoptique des mouvements des yeux et de leurs anomalies.* Paris.

7669. — *Uebersichtliche Zusammenstellung der Augenbewegungen im physiologischen und pathologischen Zustande.* (Augenärztl. Unterrichtstaf. f. d. akad. u. Selbstunterr. Deutsch herausgegeben von H. Magnus. Heft 3.) Breslau, Kern. 2. Aufl.

7670. Pickert. *Untersuchungen mittelst des Hering'schen Fallversuches.* Inaug.-Diss. Göttingen.

7671. A. Roth. *Die Doppelbilder bei Augenmuskellähmungen in symmetrischer Anordnung.* 1 Tafel. Berlin, Hirschwald.

7672. S. L. Ziegler. *Eine bequeme Prismenskala.* Ann. of Ophthalm. and Otol. Juli

1894.

7673. Swan M. Burnett. *The new or dioptrical system of measuring and designating prisms employed in ophthalmic practice.* The Refractionist. Boston.

7674. E. H. Grut. *Die Schieltheorien.* Arch. f. Augenheilkde. XXIX. 2. S. 69—98.

7675. J. Hirschberg. *Eine Anmerkung über das regelmäfsig abwechselnde Schielen.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Juli. S. 193.

7676. W. Schmiedt. *Ueber relative Fusionsbreite bei Hebung und Senkung der Blickebene.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIX. (4.) S. 233—256.

7677. Stevens. *Relation of the function of accommodation to that of convergence.* Transact. of the VII. internat. ophthalm. Congress, Edinburgh. S. 266.

§ 32.

Wettstreit der Sehfelder.

1743.

7678. du Tour. Mem. de Paris. S. 334.

1760.

7679. du Tour. *Pourquoi un objet sur lequel nous fixons les yeux paroit-il unique?* Mém. des savans étrangers. III.

1772.

7680. Janin. *Mémoires et observations sur l'oeil.* Lyon et Paris. S. 39.

1776.

7681. Janin. *Abhandlung über das Auge und seine Krankheiten.* Berlin. S. 38.

1784.

7682. J. Elliot. *Anfangsgründe derjenigen Theile der Naturlehre, welche mit der Arzneiwissenschaft in Verbindung stehen.* Uebers. v. Bertram. Leipzig.

1791.

7683. W. C. Wells. *Essay upon single vision with two eyes.* London.
7684. Mönnich. *Untersuchung der Frage, ob man mit beiden Augen zugleich und gleich deutlich sehe.* Dtsch. Abh. d. Berl. Acad. 1790—1791. S. 46.

1793.

7685. Walther. *Von der Einsaugung und Durchkreuzung der Sehnerven.* Berlin. 1794. Dtsch. Abhandl. d. Berl. Acad. 1793. S. 3.

1799.

7686. L. A. v. Arnim. *Ueber scheinbare Verdoppelung der Gegenstände für das Auge.* Gilbert's Ann. III. S. 256.

1806.

7687. Ch. N. A. Haldat du Lys. *Sur la double vision.* Journ. de phys. LXIII. S. 387.

1814.

7688. Ackermann und Herholt. *Sieht der Mensch mit einem Auge allein oder mit beiden zugleich?* Kopenhagen.

1826.

7689. J. Müller. *Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig. S. 191—194.

1836.

7690. A. W. Volkmann. *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichts.* Leipzig. S. 97—99.

1838.

7691. C. Wheatstone. *Contributions to the physiology of vision.* Philos. Trans. II. S. 386—387.
7692. Völckers. *Ueber Farbenmischung in beiden Augen.* J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 61 u. 63.
7693. A. W. Volkmann. *Ueber die Empfindung, welche entsteht, wenn verschiedenfarbige Lichtstrahlen auf identische Netzhautstellen fallen.* Müller's Arch. S. 373.

1841.

7694. H. W. Dove. Monatsber. d. Berl. Acad. S. 251.

1846.

7695. A. Seebeck. *Beiträge zur Physiologie des Gehör- und Gesichtssinns.* Pogg. Ann. LXVIII. S. 449.

1848.

7696. E. Harless. *Physiologische Beobachtung und Experiment.* Nürnberg. S. 45.

1849.

7697. Foucault et Regnault. *Note sur quelques phénomènes de la vision au moyen des deux yeux.* Compt. Rend. XXVIII. S. 78. — Philos. Mag. XXXIV. S. 269. — Inst. XVII. No. 783.
7698. de Haldat. *Optique oculaire.* Nancy. — Arch. de sc. physiol. et nat. XII. S. 45. — Inst. XVII. No. 786. S. 29

1850.

7699. H. W. Dove. *Ueber die Ursache des Glanzes und der Irradiation, abgeleitet aus chromatischen Versuchen mit dem Stereoskop.* Pogg. Ann. LXXXIII. S. 169. Berl. Monatsber. 1851. S. 252. Philos. Mag. (4.) IV. S. 241. Arch. d. sc. phys. et. nat. XXI. S. 209. Inst. No 991. S. 421.

7700. — *Ueber das Binocularsehen prismatischer Farben und eine neue stereoskopische Methode.* Pogg. Ann. LXXX. S. 446. Berl. Monatsber. S. 152. Arch. des sc. phys. et natur. XIX. S. 219.

7701. H. Meyer. *Ueber einen optischen Versuch.* Wien. Ber. VII. S. 454. Arch. d. sc. phys. et nat. XIX. S. 138.

1852.

7702. D. Brewster. *Examination of Dove's theory of lustre.* Athenäum. S. 1041. Cosmos. I. S. 577—578. Sill. Journ. (2.) XV. S. 125.

7703. H. Welker. *Ueber Irradiation und einige andere Erscheinungen des Sehens.* Giefsen. S. 107.

1853.

7704. E. Brücke. *Ueber die Wirkung complementär gefärbter Gläser beim binoculären Sehen.* Wien. Ber. XI. S. 213—216. — Pogg. Ann. XC. S. 606—609.

1854.

7705. F. Burckhardt. *Ueber Binocularsehen.* Verh. d. naturf. Ges. in Basel. I. S. 123—154.

7706. — *Zur Irradiation.* Verh. d. naturf. Ges. in Basel. I. S. 154—157.

7707. J. J. Oppel. *Ueber die Entstehung des Glanzes bei zweifarbigen, insbesondere bei schwarzen und weifsen stereoskopischen Bildern.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1853 bis 54. S. 52—55. und 1854—55. S. 33—37.

1855.

7708. D. Brewster. *On the binocular vision of surfaces of different colours.* Athenäum. S. 1120. — Inst. S. 375. — Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 9.

7709. H. W. Dove. *Ueber die von ihm gegebene Erklärung des Glanzes.* Berl. Monatsber. S. 691—694. Inst. 1856. S. 118—119.

1856.

7710. H. Helmholtz. *Ueber die Erklärung der stereoskopischen Erscheinung des Glanzes.* Verh. d. naturhist. Ver. d. Rheinlande. S. XXXVIII—XL.

7711. H. Meyer. *Ueber den Einflufs der Aufmerksamkeit auf die Bildung des Gesichtsfeldes überhaupt und die Bildung des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes beider Augen im Besonderen.* Arch. f. Ophthalm. II. 2. S. 77—92.

1857.

7712. H. W. Dove. *Ueber Binocularsehen durch verschieden gefärbte Gläser.* Berl. Monatsber. S. 208—211. — Pogg. Ann. CI. S. 147—151.

7713. J. J. Oppel. *Bemerkungen zur Stereoskopie und insbesondere zur Erklärung des Glanzes zweifarbiger Bilder.* Pogg. Ann. Bd. 100. S. 462.

7714. A. Paalzow. *Ueber subjective Farben und die Entstehung des Glanzes.* Berl. Monatsber. S. 435.

1858.

7715. J. Dingle. *On a new law of binocular vision.* Athenäum. II. S. 458.

7716. J. J. Oppel. *Ueber das „Glitzern", eine eigenthümliche Art des Glanzes und die stereoskopische Nachahmung desselben.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1856—1857. S. 56—62.

7717. P. L. Panum. *Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen.* Kiel. S. 38—42.

1860.

7718. G. Th. Fechner. *Ueber einige Verhältnisse des binocularen Sehens.* Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. VII. S. 337—564.

7719. F. Zöllner. *Ueber eine neue Beziehung der Retina zu den Bewegungen der Iris.* Pogg. Ann. CXI. S. 481—499, 660.

7720. H. W. Dove. *Optische Notizen.* Pogg. Ann. CX. S. 286—288.

7721. Rogers. *On our inability from the retinal impression alone to determine which retina is impressed.* Proc. of the Amer. Assoc. S. 192.

1861.

7722. E. Brücke. *Ueber den Metallglanz.* Wien. Ber. XLIII. (2.) S. 177—192.

7723. D. Brewster. *On binocular lustre.* Athenäum. 2. S. 411. Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 29—31.

7724. O. N. Rood. *Upon some experiments connected with Dove's theory of lustre.* Sill. Journ. (2.) XXXI. S. 339—345. Philos. Mag. (4.) XXII. S. 38—45.
7725. H. W. Dove. *Ueber den Glanz.* Berl. Monatsber. S. 522—525.
7726. — *Ueber Binocularsehen und subjective Farben.* Pogg. Ann. Bd. 114. S. 165—168.
7727. P. L. Panum. *Ueber die einheitliche Verschmelzung verschiedenartiger Netzhauteindrücke beim Sehen mit zwei Augen.* Reichert's und Du Bois-Reymond's Arch. f. Anat. und Physiol. S. 63—227.

1862.

7728. W. Wundt. *Ueber die Entstehung des Glanzes.* Pogg. Ann. CXVI. S. 627—631.
7729. O. N. Rood. *On some stereoscopic experiments.* Silliman Journ. (2.) XXXIV. S. 199—202.
7730. G. Th. Fechner. *Ueber den seitlichen Fenster- und Kerzenversuch.* Leipziger Ber. S. 27—56.
7731. W. Wundt. *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Leipzig und Heidelberg. S. 299—375.

1864.

7732. E. Hering. *Beiträge zur Physiologie.* 5. Heft. Leipzig. S. 312—316.

1865.

7733. E. Javal. *De la neutralisation dans l'acte de la vision.* Ann. d'Oculist. LIV. S. 5—16.
7734. W. v. Bezold. *Ueber binoculares Sehen.* Zeitschr. f. Biol. I. S. 237—262.
7735. O. N. Rood. *On the combination which takes place when light of different tints is presented to te right and left eye.* Sill. Journ. (2.) XXXIX. S. 254—259.
7736. — *Description of a simple apparatus for producing lustre without the use of lustrous surfaces or of the stereoscope.* Sill. Journ. (2.) XXXIX. S. 260.

1866.

7737. W. v. Bezold. *Ueber binoculares Sehen.* (Nachtrag.) Zeitschr. f. Biol. II. S. 178 bis 188.

1867.

7738. W. v. Bezold. *Ueber binoculares Sehen.* Pogg. Ann. Bd. 130. S. 424—433.

1870.

7739. M. Woinow. *Ueber den Wettstreit der Sehfelder.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 194—199.

1871.

7740. Th. Ward. *Optical Phenomenon.* Nature. IV. S. 68.

1874.

7741. W. v. Bezold. *Ueber binoculare Farbenmischung.* Pogg. Ann. Jubelband. S. 585—590.
7742. W. Schön und A. Mosso. *Eine Beobachtung, betreffend den Wettstreit der Sehfelder.* Arch. f. Ophthalm. XX. (2.) S. 269.

1875.

7743. W. Dobrowolsky. *Ueber binoculare Farbenmischung.* Pflüger's Arch. X. S. 56—61.
7744. S. Exner. *Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Prozesse.* IV. Abh.: *Die Empfindungszonen des Sehnervenapparates.* Pflüger's Arch. 11. S. 581—602.
7745. W. Schön. *Zum Wettstreit der Sehfelder.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XIII. S. 356—358.

1876.

7746. Nipher. *Optical experiments.* Nature. XIV. S. 308.

1877.

7747. A. Chodin. *Ueber die Abhängigkeit der Farbenempfindungen von der Lichtstärke.* Preyer's Samml. Physiol. Abhandl. Erste Reihe. 7. Heft. Jena, Dufft. S. 44—66.

1879.

7748. Kleiner. *Physiologisch-optische Beobachtungen.* III. *Wettstreit der Sehfelder.* Pflüger's Arch. XVIII. S. 542—573.

1882.

7749. J. Gorham. *On the blending of colours by the sole agency of the sensorium.* Brain. IV. S. 467.

1889.

7750. D. Axenfeld *Notes physiologiques. (Un phénomène de contraste binoculaire.)* Arch. Ital. de Biol. XII. S. 28.

1891.

7751. A. Chauveau. *Sur la fusion des sensations chromatiques perçues isolément par chacun des deux yeux.* Compt. Rend. CXIII. S. 358—362. — Progr. med. No. 38.
7752. — *Sur la théorie de l'antagonisme des champs visuels.* Compt. Rend. Bd. 113. Nov. 15. S. 439—442.

---

§ 33.

Kritik der Theorien.

Hinsichtlich weiterer Litteratur mufs auf die Zusammenstellungen in den entsprechenden philosophischen Werken verwiesen werden; ferner ist die Litteratur von § 26 zu beachten.

1833.

7753. H. Erpenbeck. *Ueber das Recht-Sehen trotz des umgekehrten Sehbildes auf der Retina.*

1846.

7754. Th. Waitz. *Grundlegung der Psychologie.* Hamburg.

1849.

7755. Th. Waitz. *Lehrbuch der Psychologie als Naturwissenschaft.* Braunschweig.

1852.

7756. H. Lotze. *Medicinische Psychologie.* Leipzig.

1854.

7757. G. Meissner. *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans.* 1854.

1855.

7758. A. Bain. *The senses and the intellect.*
7759. H. Helmholtz. *Ueber das Sehen des Menschen.* Ein populär wissenschaftlicher Vortrag. Leipzig, L. Voss.
7760. H. Spencer. *Principles of psychology.* London. 2 Vol.

1858.

7761. C. G. P. Langenhaun. *Quid sit, quod objecta, inversa in retina imagine, sensu recta percipiantur, disseritur.*
7762. P. L. Panum. *Ueber das Sehen mit zwei Augen.* Kiel.

1859.

7763. A. Kussmaul. *Untersuchungen über das Seelenleben des neugeborenen Menschen.*
7764. Überweg. *Zur Theorie der Richtung des Sehens.* Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. 3. R. Bd. 5. S. 274.

1860.

7765. G. Th. Fechner. *Elemente der Psychophysik.* 2 Bde. Leipzig.

1861.

7766. Cornelius. *Die Theorie des Sehens und räumlichen Vorstellens vom physikalischen, physiologischen und psychologischen Standpunkt.* Halle.
7767. A. Nagel. *Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen.* Leipzig u. Heidelberg.

1862.

7768. W. Wundt. *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Leipzig u. Heidelberg.

1863.

7769. A. Classen. *Das Schlufsverfahren des Sehactes.* Rostock.

1864.

7770. Abbot. *Light and touch.*
7771. A. Bain. *The senses and the intellect.* 2. ed.
7772. Cornelius. *Zur Theorie des Sehens.* Halle.

7773. A. Fick. *Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Sinnesorgane.* Lahr. Heft 2.
7774. W. Wundt. *Vorlesungen über Menschen- und Thierseele.* Leipzig, Voss. 2 Bde.

1866.

7775. H. Scheffler. *Die Gesetze des räumlichen Sehens (als Supplement zu: „Die physiologische Optik“).* Braunschweig.

1867.

7776. A. Classen. *Ueber die räumliche Form der Gesichtsempfindung.* Arch. f. pathol. Anat. u. Physiol. XXXVIII. S. 91 u. 441.

1868.

7777. A. Bain. *The senses and the intellect.* 3 edition. London.
7778. J. Baumann. *Die Lehre von Raum, Zeit und Mathematik in der neueren Philosophie.* 2 Bde.
7779. S. Rowley. *An new theory of vision.* Phil. Mag. (4.) XXXVI. S. 192—206.

1870.

7780. F. C. Donders. *Over aangeboren en verkregen associatie.* Onderz. in h. Phys. Lab. te Utrecht. Tw. R. III. S. 145. — Nederl. Arch. v. Genees en Natuurk. S. 247—256. Bijbladen 11 de Verslag, Gasthuis v. Ooglijders. S. 80—89.

1871.

7781. A. Verstraete. *Note sur la question de savoir de quelle manière nous acquérons par la vue la connaissance des corps.* Bull. de Brux. XXXII. 2. S. 155.

1872.

7782. F. C. Donders. *Ueber angeborene und erworbene Association.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (2.) S. 153.

1873.

7783. A. Classen. *Durch welche Hülfsmittel orientiren wir uns über den Ort der gesehenen Dinge?* Arch. f. Ophthalm. XIX. (3.) S. 53—87.
7784. Kramer. *Ueber die Entstehung der räumlichen Tiefenwahrnehmung.* Progr. d. Gymnas. zu Schleusingen. 1872—73.
7785. C. Stumpf. *Ueber den psychologischen Ursprung der Raumvorstellung.* Leipzig.

1874.

7786. v. Hasner. *Die Tiefenempfindung als Coordinatenverwandlung.* Prager Vierteljahrsschr. Bd. 123. S. 23—32.
7787. J. Jacobson. *Die Hasner'sche Theorie der Rückconstruction.* Arch. f. Ophthalm. XX. (2.) S. 71.

1875.

7788. G. Guéroult. *La notion d'espace et les conditions nécessaires à sa production.* Rev. Scient. XV. S. 986—989.
7789. v. Hasner. *Zur Theorie der Sehempfindung.* Arch. f. Ophthalm. XXI. (1.) S. 43 bis 46.
7790. O. Liebmann. *Zur Analysis der Wirklichkeit.* Strafsburg.
7791. Oger. *La vérité sur le redressement des images.* Mondes. (2). XXXVIII. S. 159—164.

1876.

7792. A. Classen. *Physiologie des Gesichtssinnes, zum ersten Mal begründet auf Kant's Theorie der Erfahrung.* Braunschweig.
7793. J. Delboeuf. *La Psychologie comme science naturelle, son présent et son avenir.* Brüssel, Muquardt. 111 S.
7794. C. Ueberhorst. *Die Entstehung der Gesichtswahrnehmung.* Versuch der Auflösung des Problems der physiologischen Psychologie. Göttingen.

1878.

7795. A. Krause. *Kant und Helmholtz über den Ursprung und die Bedeutung der Raumanschauung und der geometrischen Axiome.* Lahr, Schauenburg. 94 S.
7796. J. Sully. *The Question of Visual Perception in Germany.* Mind. IX. S. 1—24.

1879.

7797. A. Classen. *Wie orientiren wir uns im Raum durch den Gesichtssinn?* Preyer's Samml. physiol. Abhandl. 2. Reihe. Heft 5. Jena.
7798. E. Hering. *Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges.* Handb. d. Physiol Herausgeg. v. L. Hermann. III. 1. S. 343—601.

1880.

7799. O. Liebmann. *Zur Analysis der Wirklichkeit.* 2. Aufl. Strafsburg.

1881.

7800. H. Schmidt-Rimpler. *Zur empiristischen Theorie des Sehens.* Sitzgs.-Ber. d. naturwiss. Ges. in Marburg. S. 41.

7801. Fr. Schultze. *Philosophie der Naturwissenschaft.* 2 Theile. Leipzig.

1882.

7802. H. Schmidt-Rimpler. *Zur empiristischen Theorie des Sehens.* Neurol. Centralbl. 1. S. 59.

1883.

7803. Th. Lipps. *Grundthatsachen des Seelenlebens.* Bonn. 708 S.

1885.

7804. B. Kerry. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XI. S. 433—493.

7805. Th. Lipps. *Psychologische Studien. (1. Der Raum der Gesichtswahrnehmung.)* Heidelberg, Weiss. 161 S.

1886.

7806. B. Kerry. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. X. S. 419—467.

7807. E. Mach. *Beiträge zur Analyse der Empfindungen.* Jena, Fischer. 168 S.

1887.

7808. B. Kerry. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XI. S. 53—116, 249—307.

1888.

7809. Ch. Dunan. *L'espace visuelle et l'espace tactile.* Rev. philos. XIII. 2. S. 134.

7810. J. H. Hyslop. *On Wundt's theory of psychic synthesis in vision.* Mind. XIII. S. 499.

7811. L. de la Rive. *Sur la composition des sensations et la formation de la notion de 'espace.* Basel. H. Gevre.

1889.

7812. A. Classen. *Physiologie des Gesichtssinnes, zum ersten Mal begründet auf Kant's Theorie der Erfahrung.* Braunschweig, Vieweg.

7813. B. Kerry. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XIII. S. 71—124, 392—419.

7814. L. de la Rive. *Sur la génèse de la notion d'espace.* Rev. philos. XIV. Jahrg. Bd. 27. S. 452—462. Rep. britt. assoc. 1888. S. 585.

1890.

7815. W. James. *The principles of psychology.* London.

7816. B. Kerry. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung.* Vierteljahrsschr f. wiss. Philos. XIV. S. 317—353.

7817. A. Köpcke. *Ueber empirische und idealisirende Raumauffassung.* Progr. Altona Ottensen. 10 S.

7818. H. Spencer. *Our Space-Consciousness: A. Reply.* Mind. XV. S. 305—324.

1891.

7819. C. S. Cornelius. *Zur Theorie des räumlichen Vorstellens mit Rücksicht auf eine Nachbildlokalisation.* Zeitschr. f. Psychol. II. S. 64—179.

7820. E. L. Fischer. *Theorie der Gesichtswahrnehmung.* Mainz, Kirchheim 392 S.

7821. J. H. Hyslop. *Helmholtz' theory of space-perception.* Mind. XVI. S. 54—79.

7822. B. Kerry. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung.* Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XV. S. 127—167.

7823. H. Munk. *Sehsphäre und Raumvorstellungen.* Intern. Beitr. z. wissensch. Med. (Virchow-Festschr.). Bd. I. S. 355—366. Berlin, Hirschwald.

7824. J. Onanoff. *Origine de la vision droite.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (9). III. 12. S. 233—236.

7825. Rudzki. *Ueber ein angeborenes Gefühl der Cardinalrichtungen des Horizonts.* Biol. Centralbl. XI. No. 2. S. 63.

1892.

7826. A. Farges. *La critique de Kant zur l'espace et le temps.* Ann. de Philos. Chrét (N. S.) Bd. 26, 5. S. 456—475.

7827. G. Hirth. *Das plastische Sehen als Rindenzwang.* München. G. Hirth's Verlag. 80 S. m. 50 Textillustr. u. 34 Taf. m. stereoskop. Abbild.

7828. Th. Lipps. *Die Raumanschauungen und die Augenbewegungen.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 123—171.
7829. A. Stöhr. *Zur nativistischen Behandlung des Tiefensehens.* Wien, Deuticke. 30 S.
7830. W. Wundt. *Vorlesungen über die Menschen- und Thierseele.* 2. Aufl. Hamburg und Leipzig.

1893.

7831. M. Glossner. *Die Theorie der Gesichtswahrnehmung und der kritische Realismus E. L. Fischer's.* Jahrb. f. Philos. u. specul. Theol. VII. S. 326—344.

1894.

7832. J. H. Hyslop. *Experiments in space perception.* Psychol. Rev. I. 3. S. 257—273.
7833. J. Krassnig. *Die Zeit- und Raumvorstellung, eine psychologische Studie.* Progr. Nikolsburg. 39 S.

Autorenregister zur Litteraturübersicht.

Anonym erschienene Abhandlungen sind mit den Anfangsworten ihres Titels in die alphabetische Reihenfolge eingeordnet.

C.

G.

I.

L.

M.

N.

Q.

R.

S.

T.

U.

V.

W.

Y.

Z.



Tafeln.



Fig. 3.

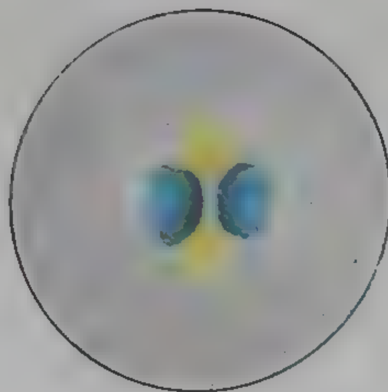


Fig. 4.

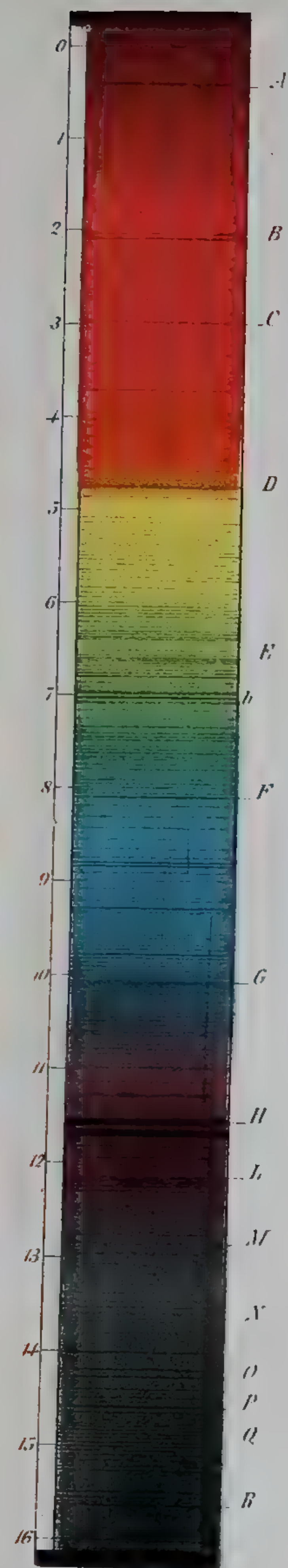


Fig 2

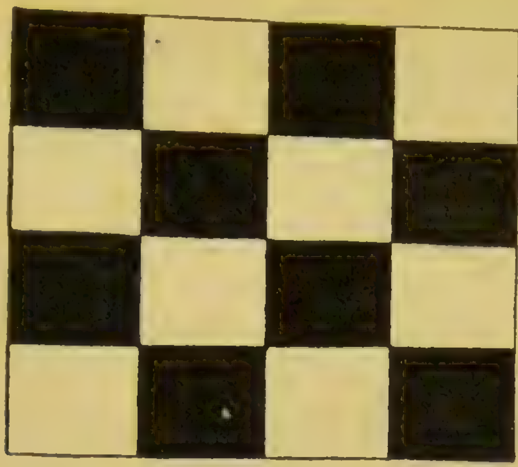
W. Ahlhoff pinx.

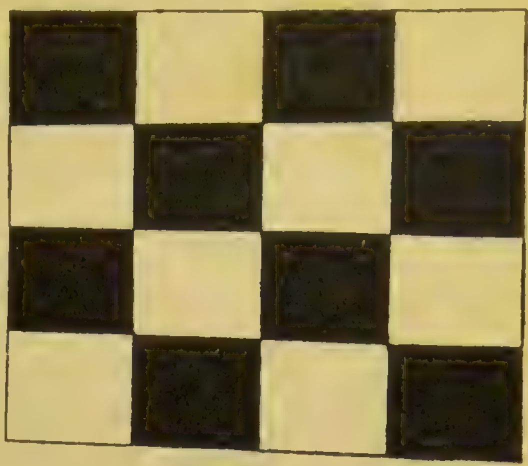
Fig. 1.

Verlag von Leopold Voss in Hamburg und Leipzig.

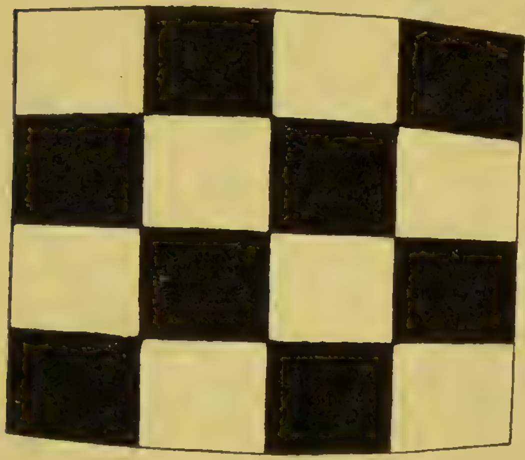
Meisenbach, Riffarth & Co. Berlin.

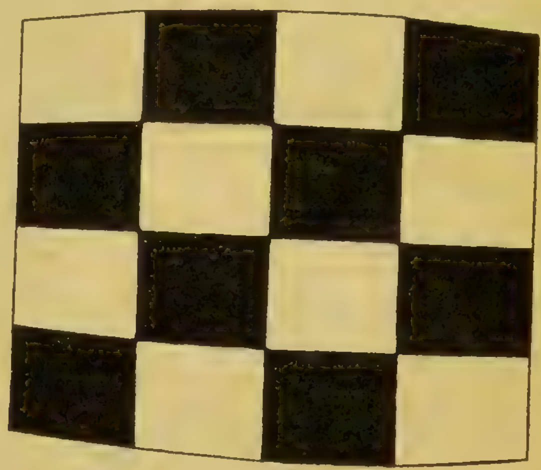
A



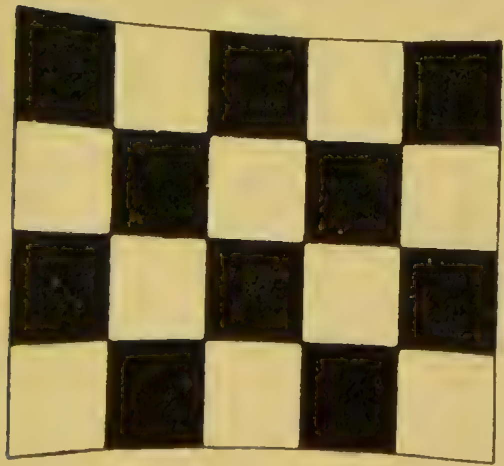


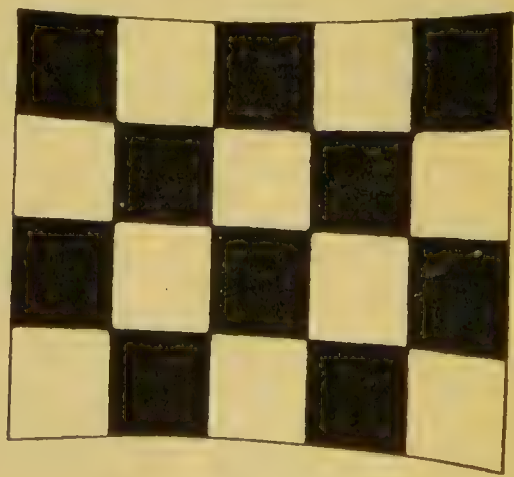
B



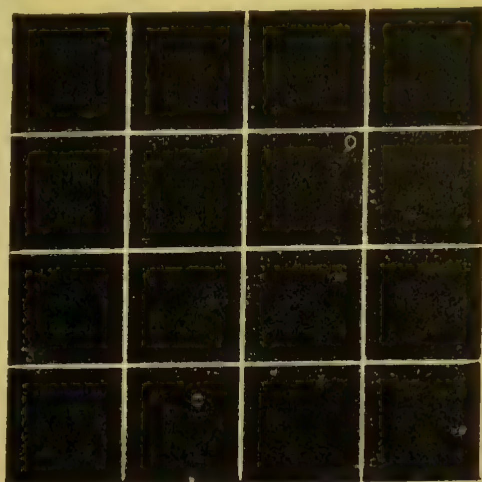


C





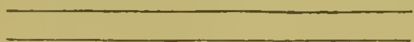
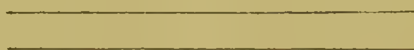
D

E




F

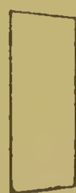
G




H



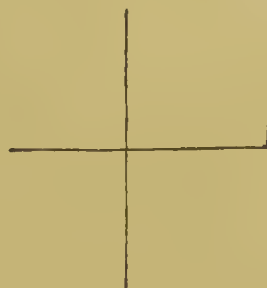

J




Verlag von Leopold Voss in Hamburg (u. Leipzig).

L





M





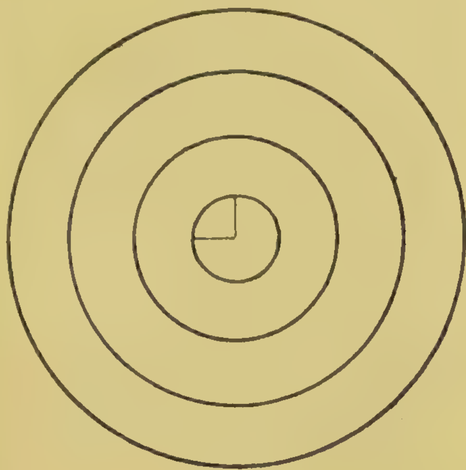
N





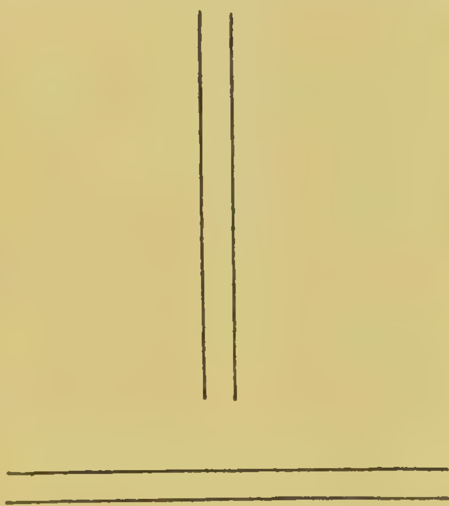
Verlag von Leopold Voss in Hamburg (u. Leipzig).

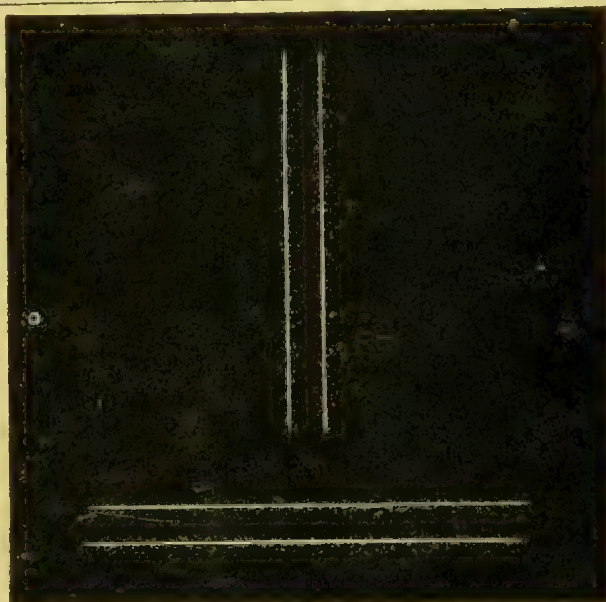
O



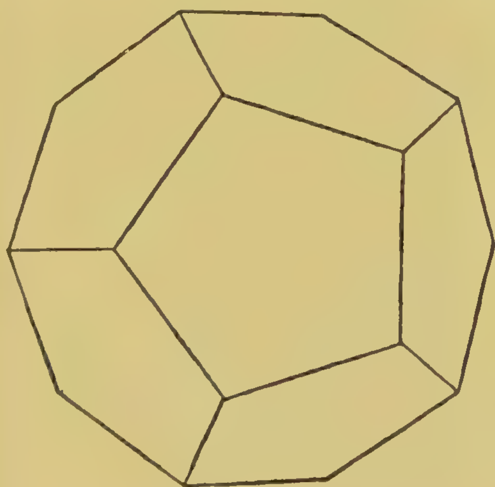


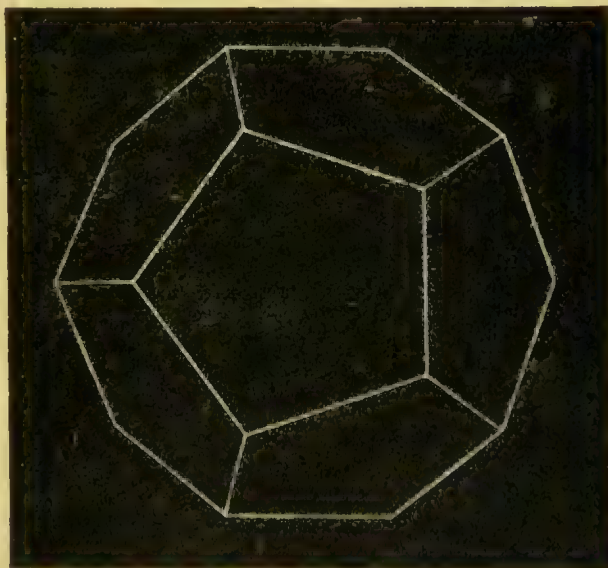
P





Q

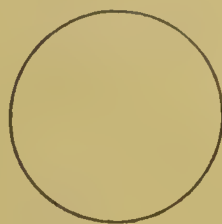




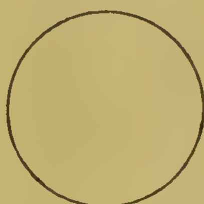
Verlag von Leopold Voss in Hamburg (u. Leipzig).

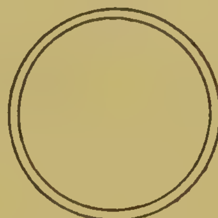
R



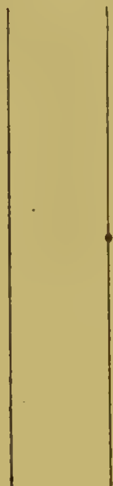


S



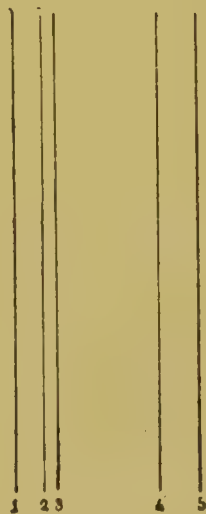


T





U





Verlag von Leopold Voss in Hamburg (u. Leipzig).

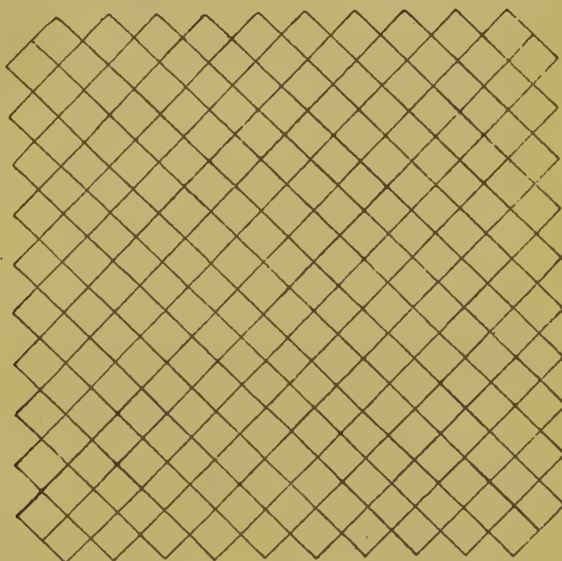
V



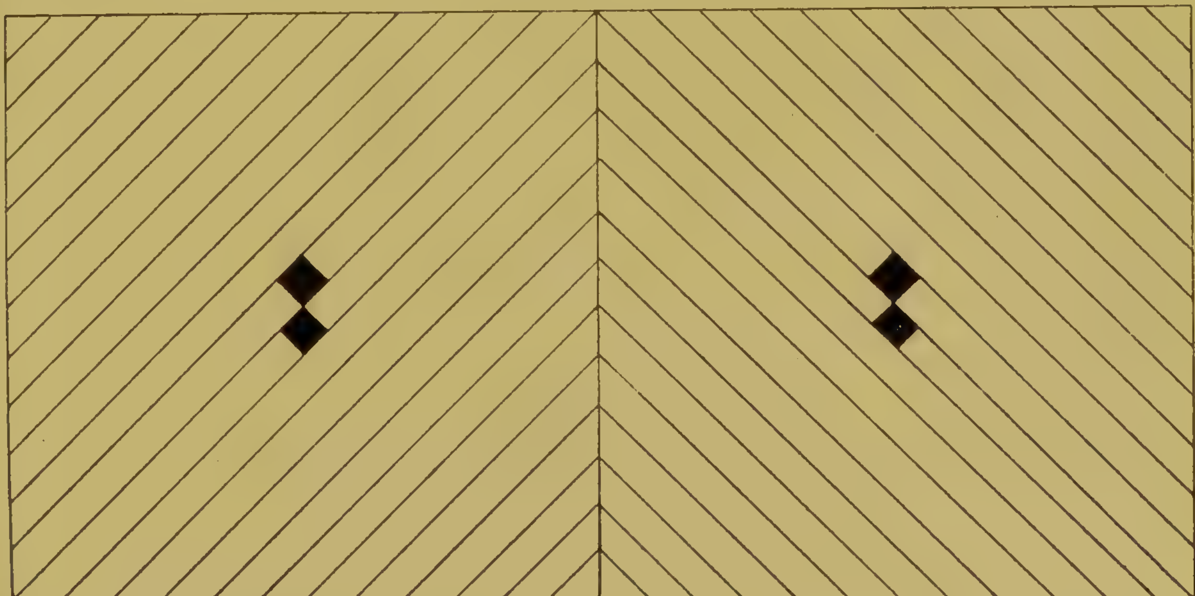


W





X



Verlag von Leopold Voss in Hamburg (u. Leipzig).

Handbuch

der

Physiologischen Optik

von

H. von Helmholtz.

Zweite umgearbeitete Auflage.

Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Erste Lieferung.

Hamburg und Leipzig.
Verlag von Leopold Voss.
1886.

Da die ältere Ausgabe dieses Buches seit Jahren aus dem Buchhande' schwunden war, und doch noch immer wieder verlangt wurde, habe ich mich schlossen, eine neue Ausgabe zu bearbeiten. Diese konnte nicht wohl ein unveränderter, beziehlich nur von Druckfehlern und andern Versehen gereinigter Abdruck der ersten Ausgabe sein, da die große Menge von Arbeiten, die seit dem Erscheinen des Werks in der Ophthalmologie durchgeführt sind, doch eine große Menge theils gewichtiger Bestätigungen und Sicherungen der damals aufgestellten Sätze, theils Verbesserungen und genauere Bestimmungen gebracht haben. Auch glaube ich jetzt die frühere Darstellung an manchen wichtigen Stellen einfacher oder deutlicher machen zu können.

Andrerseits fand ich es unmöglich in absehbarer Zeit die neue Ausgabe vollständig nach denselben Grundsätzen durchzuarbeiten, nach denen ich es bei der früheren gethan habe. Damals hatte ich es mir zur Pflicht gemacht, alle wesentlichen Punkte durch eigene Beobachtungen und Versuche zu prüfen, beziehlich zu begründen. Ich habe also einen mittleren Weg einschlagen müssen. Ich habe aus der neueren Litteratur möglichst berücksichtigt, was mir einen wesentlichen Fortschritt, oder eine wünschenswerthe Sicherung, beziehlich Widerlegung meiner früheren Ergebnisse und Meinungen zu enthalten schien. Ich bin aber nicht darauf ausgegangen, im Texte des Buches eine vollständige Aufzählung und Kritik neuerer Meinungen zu geben. Dagegen soll am Schlusse eine möglichst vollständige Übersicht der Litteratur, nach dem Inhalte geordnet, folgen, deren Zusammenstellung Herr Dr. Arthur Koenig übernommen hat.

Um die älteren Citate in der neuen Auflage finden zu können, sind die Seitenzahlen derselben am Rande des neuen Textes angegeben, und was umgearbeitet oder neu eingesetzt ist, ist durch ein an den Rand gesetztes *n* bezeichnet, so daß der Leser die gemachten Änderungen leicht erkennt.

Auch von den Figuren ist ein großer Theil durch bessere neue ersetzt worden, andere neu hinzugefügt.

Berlin, im November 1885.

Hermann von Helmholtz.

Die zweite Auflage des *Handbuchs der Physiologischen Optik* erscheint zunächst in etwa 10 Lieferungen zum Preise von je ℳ. 3.— und ist durch jede Buchhandlung des In- und Auslandes zu beziehen.

Hamburg.

Die Verlagsbuchhandlung
Leopold Voss.